

Macrófitas acuáticas de Colombia: notas sobre su uso en fitorremediación

Aquatic macrophytes of Colombia: notes
on its use in phytoremediation

Astrid Marín-Olarte¹

Resumen

Las macrófitas acuáticas representan entre el 1 % y el 3 % de todas las plantas conocidas. Son consideradas indispensables en los ecosistemas acuáticos por sus múltiples funciones biológicas. En Colombia el incremento en los índices de contaminación con metales pesados en efluentes es una de las principales problemáticas ambientales. Una forma de eliminarlos es mediante la fitorremediación. Se realizó una búsqueda sistemática de información en diferentes bases de datos, donde los criterios establecidos para la búsqueda fueron principalmente artículos científicos, revisiones y libros de fácil y libre acceso. Se revisaron 130 publicaciones, que documentan 60 especies de macrófitas acuáticas utilizadas para la fitorremediación de metales pesados. Sobresalen por sus valores de riqueza Araceae (5 géneros / 9 especies), Poaceae (7/7), Hydrocharitaceae (4/4), Cyperaceae (3/4) y Salviniaceae (2/4). El 55,4 % de las publicaciones se centra en la clase monocotiledónea y aquellas con más publicaciones para un uso potencial en la fitorremediación son *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. y Schult., *Lemna gibba* L., *Lemna minor* var. *obscura* Austin, *Pistia stratiotes* L., *Pontederia crassipes* Mart. y *Typha latifolia* L. Respecto a su origen, 47 son nativas y 13 son introducidas en Colombia.

Palabras clave: plantas acuáticas, hidrobiología, ecosistema acuático, contaminación del agua, biodegradación ambiental, macrófitas acuáticas, Colombia, fitorremediación, metales pesados.

Créditos

Autores

¹ Bióloga. Universidad Central. Semillero de Investigación Botánica de la Universidad Central (SIBUC). Correo: amarino@ucentral.edu.co

Cómo citar:

Marín-Olarte, A. (2022). Macrófitas acuáticas de Colombia: notas sobre su uso en fitorremediación. *Ingeciencia*, 7, 7-25.

Abstract

Aquatic macrophytes represent between 1 % and 3 % of all known plants. They are considered essential in aquatic ecosystems for their multiple biological functions. In Colombia, the increase in heavy metal pollution levels in effluents is one of the main environmental issues. One way to remove them is through phytoremediation. A systematic search for information was conducted in different databases, where the criteria established for the search were primarily scientific articles, reviews, and freely accessible books. 130 publications were reviewed, documenting 60 species of aquatic macrophytes used for the phytoremediation of heavy metals. Araceae (5 genera / 9 species), Poaceae (7/7), Hydrocharitaceae (4/4), Cyperaceae (3/4), and Salviniaceae (2/4) stand out for their richness values. 55.4% of the publications focus on the monocotyledonous class, and those with the most publications for potential use in phytoremediation are *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. y Schult., *Lemna gibba* L., *Lemna minor* var. *obscura* Austin, *Pistia stratiotes* L., *Pontederia crassipes* Mart., and *Typha latifolia* L. Regarding their origin, 47 are native and 13 are introduced in Colombia.

Keywords: aquatic plants, hydrobiology, aquatic ecosystems, water pollution, biodegradation environmental, aquatic macrophytes, phytoremediation, heavy metals, Colombia.

Introducción

Definir una planta como acuática tiene cierta dificultad. Hay algunas con formas terrestres y plantas terrestres con formas acuáticas. Términos como *macrófitas acuáticas*, *hidrófitas* o *plantas acuáticas* se usan para plantas verdes que pueden observarse sin magnificación (Rial, 2003). En la literatura hidrobótica estos términos se usan como sinónimos de *higher aquatic plants*, *aquatic vascular plants* o *aquatic angiosperms*, entre otros. Con ellos se denominan grandes grupos de plantas con esporas o con fructificación y floración en un ambiente acuático (Rial, 2003). El término *macrófita acuática* presenta diversas definiciones, pero todas coinciden en que desarrollan la totalidad de su ciclo biológico, o al menos parte importante de él, en ambientes con agua libre o suelos sobresaturados de agua (Rial, 2003; Bracamonte *et al.*, 2014; Mereles, 2015; Jocoú *et al.*, 2018).

Las macrófitas acuáticas representan entre el 1 % y el 3 % de todas las plantas conocidas. Su riqueza global se estima en 2724 especies: 110 corresponden a briófitos; 171, a helechos y afines; y 2443, a angiospermas. Estas especies alcanzan sus mayores niveles de endemismo y diversidad en los trópicos (García *et al.*, 2007; Chambers *et*

al., 2008). En los últimos años su estudio ha tenido un creciente interés (Atuesta-Ibargüen *et al.*, 2019), pues se consideran indispensables en los ecosistemas acuáticos porque funcionan como protección y fuente de alimento para un gran número de organismos; asimismo, sirven como fitorremediadoras, capaces de absorber ciertas sustancias contenidas en el agua y oxigenarla, debido a sus órganos aeríferos (Mera, 2016).

La vegetación acuática de Colombia ha sido documentada principalmente en las regiones Andina (Rangel-Ch & Aguirre-C, 1983; Schmidt-Mumm, 1998; Durán-Suárez *et al.*, 2011; Posada & López, 2011; Ramos-Montaña *et al.*, 2013), Caribe (Rangel-Ch, 2010; Cortés-Castillo & Rangel-Ch, 2013; Pérez-Vásquez *et al.*, 2015; Cortés-Castillo, 2017) y Orinoquia (Fernández *et al.*, 2015; Madriñán *et al.*, 2017; Vera, 2017).

En los últimos 100 años, los sistemas acuáticos han sido contaminados con diferentes sustancias tóxicas debido a las actividades antropogénicas, como la industrialización, la urbanización, la agricultura, entre otras, que pueden traer graves riesgos para la salud (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006; Sood *et al.*, 2012; Tejada-Tovar & Garcés-Jaraba, 2015; Carpio, 2016; Mera, 2016; Arango & Godoy, 2018; Cartagena, 2019; Bhatti *et al.*, 2020).

Una manera de eliminarlas es mediante la fitorremediación, proceso donde las plantas se seleccionan principalmente por su potencial fisiológico para remover, transferir, estabilizar, concentrar o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos), como también con metales radioactivos, pesados o tóxicos en suelos, aguas, lodos o sedimentos. La fitorremediación puede aplicarse tanto *in situ* como *ex situ* (López *et al.*, 2004; Betancur *et al.*, 2005; Carpena & Bernal, 2007; Delgadillo-López *et al.*, 2011; Poma & Valderrama, 2014; Madera-Parra *et al.*, 2014; Vera *et al.*, 2016; García-Valero *et al.*, 2019). Los sistemas actuales que se implementan para la eliminación de estos metales son costosos; por ello, se propone la fitorremediación como una técnica de bajo costo y potencialmente sustentable, que ofrece la absorción y acumulación de metales por medio de procesos biológicos realizados por macrófitas acuáticas, capaces de bioacumular la mayoría de metales pesados, y así evitar problemas los problemas que ocasionan dichos metales (García & Reyes, 2009; Mera, 2016; Cartagena, 2019; Bhatti *et al.*, 2020; Fletcher *et al.*, 2020).

En el contexto actual del mundo y su continuo proceso de globalización, hay una constante proliferación de nueva información, plasmada en una multitud de artículos y publicaciones. Por esta razón, las revisiones sistemáticas se presentan como herramientas analíticas destinadas a examinar de manera exhaustiva la información disponible con el objetivo de responder a una pregunta específica (Urra & Barría, 2010; González *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2018). El presente artículo, basado en una revisión de este tipo, contiene una síntesis documental sobre el uso potencial de algunas macrófitas de Colombia para fines de fitorremediación de metales pesados.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda sistemática de información en los siguientes portales académicos: ResearchGate, ScienceDirect, SpringerLink, Nature, Dimensions, Google académico y Scielo. Se establecieron como criterios principales artículos científicos, revisiones y libros de fácil y libre acceso en los idiomas inglés, español y portugués, sin despreciar la fecha de publicación. Las ecuaciones de búsqueda empleadas se muestran en la tabla 1. La selección inicial se realizó a partir de lo expuesto por Moreno *et al.* (2018), con base en los títulos, los resúmenes y las conclusiones de la información disponible para artículos, revisiones y tesis. Se analizó en su totalidad el material optativo y se llevó a cabo una selección final a través de los criterios mostrados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Ecuaciones de búsquedas empleadas

Ecuaciones de búsqueda		
Inglés	Español	Portugués
phytoremediation AND "heavy metals" AND ("aquatic macrophytes" OR "aquatic plants")	fitorremediación AND "metales pesados" AND ("macrofitas acuáticas" OR "plantas acuáticas")	fitorremediação AND "metais pesados" AND ("macrofitas aquáticas" OR "plantas aquáticas")
(bioremediation OR phytoremediation) AND ("aquatic macrophytes" OR "aquatic plants") AND "heavy metals"	(biorremediación OR fitorremediación) AND ("macrofitas acuáticas" OR "plantas acuáticas") AND "metales pesados"	(biorremediação OR fitorremediação) AND ("macrofitas aquáticas" OR "plantas aquáticas") AND "metais pesados"
(bioremediation OR phytoremediation) AND "aquatic macrophytes" AND "colombia" AND "heavy metals"	(biorremediación OR fitorremediación) AND "macrofitas acuáticas" AND "colombia" AND "metales pesados"	(biorremediação OR fitorremediação) AND "macrofitas aquáticas" AND "colombia" AND "metais pesados"
"aquatic macrophytes" AND "heavy metals" AND colombia	"macrofitas acuáticas" AND "metales pesados" AND colombia	"macrofitas aquáticas" AND "metais pesados" AND colômbia
phytoremediation AND "heavy metals" AND "aquatic plants"	fitorremediación AND "metales pesados" AND "plantas acuáticas"	fitorremediação AND "metais pesados" AND "plantas aquáticas"
distribution AND "aquatic macrophytes" AND colombia	distribución AND "macrofitas acuáticas" AND colombia	distribuição AND "macrofitas aquáticas" AND colômbia
phytoremediation AND "heavy metals" in waters"	fitorremediación AND "metales pesados" en aguas"	fitorremediação AND "metais pesados" em águas"

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Criterios empleados para la búsqueda

Criterios de búsqueda
Plantas acuáticas nativas de Colombia
Plantas acuáticas cultivadas e introducidas en Colombia
Fitorremediación in situ y ex situ
Fitorremediación de metales pesados en aguas
Fitorremediación de metales pesados en pozos
Fitorremediación de metales pesados en ríos

Fuente: elaboración propia.

La búsqueda bibliográfica se realizó desde 01 de marzo de 2021 hasta el 10 de octubre de 2021. Para las consideraciones nomenclaturales, taxonómicas y corológicas se usó w3.tropicos.org, el *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia* (Bernal *et al.*, 2019), el International Plant Names Index [IPNI] (2021) y el Global Biodiversity Information Facility [GBIF] (2021), además de las colecciones en línea del Herbario virtual Amazónico Colombiano (COAH), el Herbario Nacional Colombiano (COL), el Herbario del Jardín Botánico José Celestino Mutis (JBB) y el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA).

Resultados y discusión

Colombia cuenta con un total aproximado de 27.860 especies de plantas, de las cuales 194 son acuáticas (Bernal *et al.*, 2019). En esta contribución se documentaron 60, que se usan para la fitorremediación de metales pesados, que corresponden a 29 familias y 47 géneros (tabla 3 y la tabla 4). De estas, 47 (78,3 %) son de origen nativo y 13 (21,7 %) son introducidas (figura 1). Se encontró la mayor representación en la clase de las monocotiledóneas (11 familias, 28 géneros y 37 especies), seguida por las dicotiledóneas (14 familias, 14 géneros y 16 especies) y las polypodiópsidas (1 familia, 4 géneros y 4 especies); luego se encuentran las gimnospermas, las marchantiopsidas y las jungermanniopsidas, que presentaron la menor riqueza, con una especie y un género cada una (tabla 4).

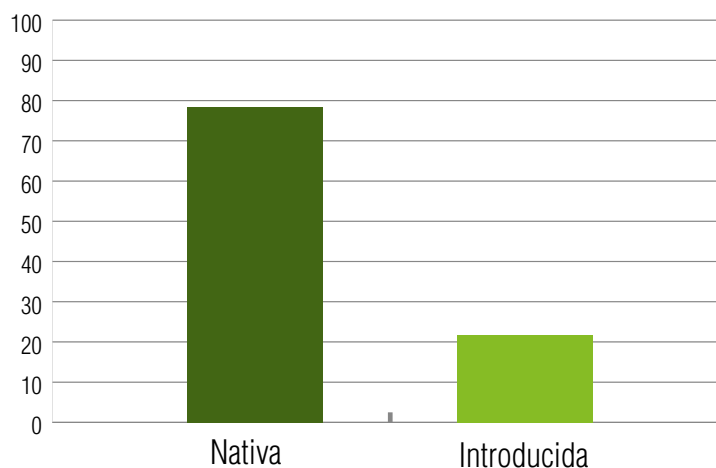


Figura 1. Porcentaje del origen de las especies de macrófitas acuáticas encontradas para la fitorremediación de metales pesados.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Especies de macrófitas acuáticas documentadas para la remediación de metales pesados

Origen	Familia	Género	Especie + autor	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	In	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Ti	U	Zn	Referencias
Nativa	Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i>	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.			X												X						Bhatti et al. (2020)
Introducida	Araucariaceae	<i>Araucaria</i>	<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco					X																Sarada et al. (2017), Mancheno et al. (2021)
Nativa	Salviniaceae	<i>Azolla</i>	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.			X		X		X	X		X				X	X					X	Barros (2018), Bhatti et al. (2020), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Pandey (2012), Rodrigues y Orlandelli (2018), Sood et al. (2012), Zhang et al. (2008)
Nativa	Salviniaceae	<i>Azolla</i>	<i>Azolla microphylla</i> Kaulf.					X		X							X							Bhatti et al. (2020)
Nativa	Cannaceae	<i>Canna</i>	<i>Canna glauca</i> L.			X																		Jomjun et al. (2010)
Nativa	Cannaceae	<i>Canna</i>	<i>Canna indica</i> L.					X										X						Vera et al. (2016), Cheng et al. (2002)
Nativa	Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.			X		X	X	X	X	X				X	X	X					X	Abdallah (2012), Bhatti et al. (2020), Ostroumov y Shestakova (2009)
Introducida	Poaceae	<i>Chrysopogon</i>	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty							X														Masinire et al. (2021)
Introducida	Araceae	<i>Colocasia</i>	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott		X	X		X		X		X	X					X						Bhatti et al. (2020), Madera-Parra et al. (2014), Skinner et al. (2007), Hui et al. (2017)
Introducida	Cucurbitaceae	<i>Cucumis</i>	<i>Cucumis sativus</i> L.			X				X														Butler et al. (2009), Hong et al. (2011)
Introducida	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>Cyperus papyrus</i> L.			X		X																Jomjun et al. (2010), Dewedar et al. (2018)
Nativa	Poaceae	<i>Echinochloa</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.					X			X							X						Fernandes et al. (2020), Peng et al. (2017), Kim et al. (2010)
Nativa	Hydrocharitaceae	<i>Egeria</i>	<i>Egeria densa</i> Planch.			X		X			X		X										X	Bhatti et al. (2020), Da Cruz (2015), Harguinteguy et al. (2015)
Nativa	Cyperaceae	<i>Eleocharis</i>	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult.	X		X		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X				X	Bhatti et al. (2020), Ha et al. (2011), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Sakakibara et al. (2011)
Nativa	Cyperaceae	<i>Eleocharis</i>	<i>Eleocharis acutangula</i> (Roxb.) Schult.		X		X				X	X				X							X	Zocche (2013), Ferreira et al. (2019)
Nativa	Asteraceae	<i>Erato</i>	<i>Erato polymnioides</i> DC.										X											Rodrigues y Orlandelli (2018)
Nativa	Poaceae	<i>Gynerium</i>	<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P. Beauv.					X		X			X					X						Madera-Parra et al. (2014)
Nativa	Heliconiaceae	<i>Heliconia</i>	<i>Heliconia psittacorum</i> L. f.					X		X			X					X						Madera-Parra et al. (2014), Orejuela-Romero (2017)
Nativa	Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla</i>	<i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle			X				X								X				X	X	Bhatti et al. (2020)
Nativa	Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i>	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.		X	X		X		X	X	X			X	X	X	X					X	Fall (2015), Demarco et al. (2018)
Nativa	Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i>	<i>Hydrocotyle umbellata</i> L.					X		X	X									X				Galván-Güemes (2006), Lone et al. (2008)
Introducida	Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk.			X		X			X		X					X					X	Bhatti et al. (2020), Hu et al. (2008), Kumar et al. (2008)
Nativa	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>Juncus effusus</i> L.					X			X							X					X	Fritioff y Greger (2003)
Nativa	Araceae	<i>Lemna</i>	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.							X	X	X				X	X						X	Pio et al. (2013)
Nativa	Araceae	<i>Lemna</i>	<i>Lemna gibba</i> L.		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X				X	X	Abdallah (2012), Bhatti et al. (2020), Fritioff y Greger (2003), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Mkandawire y Dudel (2005), Mkandawire et al. (2004a), Mkandawire et al. (2004b)
Nativa	Araceae	<i>Lemna</i>	<i>Lemna minor var. obscura</i> Austin			X		X			X		X					X			X		X	Ali et al. (2020), Barros (2018), Bhatti et al. (2020), Castrillón y Navarro (2016), Chaudhuri et al. (2014) Fritioff y Greger (2003), Galván-Güemes (2006), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Isaksson et al. (2007), Jaramillo y Flores (2012), Kara (2004), Lone et al. (2008), Rakhshae et al. (2009), Singh et al. (2012), Wang et al. (2002)
Nativa	Araceae	<i>Lemna</i>	<i>Lemna valdiviana</i> Phil.			X																		Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Souza (2016)
Nativa	Amblystegiaceae	<i>Leptodictyum</i>	<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.) Warnst.					X			X							X					X	Bhatti et al. (2020), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020)
Nativa	Hydrocharitaceae	<i>Limnobium</i>	<i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine							X							X	X					X	González (2010), San Juan et al. (2018), Arán et al. (2017)
Nativa	Alismataceae	<i>Limnocharis</i>	<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau		X			X		X	X	X	X			X	X	X					X	Anning et al. (2013), Bhatti et al. (2020), Korsah (2011), Hui et al. (2017)
Nativa	Onagraceae	<i>Ludwigia</i>	<i>Ludwigia palustris</i> (L.) Elliott								X	X	X					X					X	Kamal et al. (2004)
Nativa	Linderniaceae	<i>Micranthemum</i>	<i>Micranthemum umbrosum</i> (J.F. Gmel.) S.F. Blake			X		X																Bhatti et al. (2020), Rodrigues y Orlandelli (2018), Islam et al. (2013)
Introducida	Haloragaceae	<i>Myriophyllum</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.					X			X	X	X				X						X	Harguinteguy et al. (2015), Guo et al. (2020), Kamal et al. (2004)
Introducida	Brassicaceae	<i>Nasturtium</i>	<i>Nasturtium officinale</i> W.T. Aiton							X	X							X					X	Ali et al. (2020), Bhatti et al. (2020), Kara (2002)
Nativa	Poaceae	<i>Paspalum</i>	<i>Paspalum repens</i> P.J. Bergius								X												X	Rodrigues y Orlandelli (2018)
Introducida	Poaceae	<i>Phalaris</i>	<i>Phalaris arundinacea</i> L.					X	X		X					X		X					X	Bhatti et al. (2020), Fritioff y Greger (2003), Polechořska y Klink (2014)
Nativa	Poaceae	<i>Phragmites</i>	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.					X			X	X			X		X	X					X	Anishchenko et al. (2020), Bello et al. (2018), Bhatti et al. (2020), Kleche et al. (2013)

Continúa...

... viene

Origen	Familia	Género	Especie + autor	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	In	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Ti	U	Zn	Referencias
Nativa	Araceae	Pistia	Pistia stratiotes L.	X	X	X		X		X	X	X	X			X	X	X					X	Akter et al. (2014), Ali et al. (2020), Arias (2017), Bhatti et al. (2020), Bríñez-Vásquez et al. (2019), Das et al. (2014), Farnese et al. (2014), Lone et al. (2008), Prajapati et al. (2012), Rodrigues et al. (2016), Rodrigues y Orlandelli (2018), Saleh (2012), Singh et al. (2012), Skinner et al. (2007), Hui et al. (2017)
Nativa	Polygonaceae	Polygonum	Polygonum hydropiperoides Michx.					X		X	X	X					X	X					X	Ali et al. (2020), Bhatti et al. (2020)
Nativa	Pontederiaceae	Pontederia	Pontederia crassipes Mart.	X		X		X	X	X	X	X	X			X	X	X		X		X	X	Ajibade et al. (2013), Ali et al. (2020), Alvarado et al. (2008), Araque et al. (2018), Arias (2017), Barros (2018), Bhatti et al. (2020), Bríñez-Vásquez et al. (2019), Carreño-Sayago y Granada-Torres (2016), Carrión et al. (2012), Castrillón y Navarro (2016), Chandra y Kulshreshtha (2004), Cordes et al. (2000), Covarrubias y Cabriales (2017), Da Cruz (2015), Dixit y Dhote (2010), Domingos et al. (2012), Eid et al. (2020), Eid et al. (2019), Espinoza-Quinones et al. (2008), Fall (2015), Galván-Güemes (2006), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Jaramillo y Flores (2012), Jiménez-Rodríguez (2021), Kumar et al. (2008), Liao y Chang (2004), Lone et al. (2008), López et al. (2004), Mishra y Tripathi (2009), Ndimele y Jimoh (2011), Niño et al. (2018), Odjegba y Fasidi (2007), Okunowo y Ogunkanmi (2010), Paredes y Nique (2018), Poma y Valderrama (2014), Rezanía et al. (2015), Rodrigues et al. (2016), Rodrigues y Orlandelli (2018), Santos (2021), Singh et al. (2012), Skinner et al. (2007), Souza (2016), Tavares (2009), Wang et al. (2002), Carreño-Sayago (2021)
Introducida	Potamogetonaceae	Potamogeton	Potamogeton crispus L.								X	X				X	X						X	Ali et al. (2020), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020)
Nativa	Potamogetonaceae	Potamogeton	Potamogeton pusillus L.			X				X	X		X											Bhatti et al. (2020), Griboff et al. (2018), Monferrán et al. (2012)
Nativa	Ricciaceae	Ricciocarpos	Ricciocarpos natans (L.) Corda									X												Silva et al. (2021)
Nativa	Alismataceae	Sagittaria	Sagittaria latifolia Willd.								X							X					X	López et al. (2004), Chocobar-Ponce (2019)
Nativa	Salviniaceae	Salvinia	Salvinia auriculata Aubl.							X			X					X					X	Almeida (2009), Bhatti et al. (2020), Molisani et al. (2006), Negrão et al. (2021), Wolff et al. (2009)
Nativa	Salviniaceae	Salvinia	Salvinia minima Baker			X		X		X								X						Bhatti et al. (2020), Hoffmann et al. (2004), López et al. (2004), Olguin et al. (2003), Rodrigues et al. (2016), Sánchez-Galván et al. (2008)
Nativa	Cyperaceae	Schoenoplectus	Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják			X					X	X					X							Blanco (2019)
Nativa	Aizoaceae	Sesuvium	Sesuvium portulacastrum (L.) L.					X			X												X	Gil-Hurtado (2020), Feng et al. (2018a), Feng et al. (2018b)
Nativa	Araceae	Spirodela	Spirodela intermedia W. Koch							X	X	X	X			X		X					X	Ali et al. (2020), Bhatti et al. (2020), De La Fournière et al. (2019)
Nativa	Araceae	Spirodela	Spirodela polyrhiza (L.) Schleid.			X		X					X				X	X						Bhatti et al. (2020), Chaudhuri et al. (2014)
Nativa	Potamogetonaceae	Stuckenia	Stuckenia pectinata (L.) Börner								X				X								X	Anishchenko et al. (2020)
Introducida	Typhaceae	Typha	Typha angustifolia L.					X		X	X	X				X	X	X					X	Bhatti et al. (2020), Chandra y Kulshreshtha (2004), Demirezen y Aksoy (2004), Kumar et al. (2008)
Nativa	Typhaceae	Typha	Typha domingensis Pers.					X	X		X						X	X					X	Bhatti et al. (2020)
Nativa	Typhaceae	Typha	Typha latifolia L.			X		X		X	X	X	X			X	X	X					X	Ali et al. (2020), Bhatti et al. (2020), Blute et al. (2004), Chandra y Kulshreshtha (2004), Covarrubias y Cabriales (2017), Galván-Güemes (2006), Hejna et al. (2020), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Oquendo-Andino (2016), Pratas et al. (2007), Sasmaz et al. (2008), Ferniza (2017)
Introducida	Poaceae	Urochloa	Urochloa mutica (Forssk.) T.Q.Nguyen							X		X				X	X	X						Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020)
Nativa	Lentibulariaceae	Utricularia	Utricularia gibba L.							X														Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Augustynowicz et al. (2015), Lukowicz et al. (2013)
Nativa	Hydrocharitaceae	Vallisneria	Vallisneria americana Michx.							X														Bhatti et al. (2020)
Nativa	Araceae	Wolffia	Wolffia globosa (Roxb.) Hartog & Plas			X		X																Bhatti et al. (2020), Huaraca-Huaman y Lujan-Espinoza (2020), Xie et al. (2013)

Nota: las “x” indican la capacidad de fitorremediación de los metales pesados para esa especie.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Distribución de la riqueza según clases taxonómicas

Clase	N.º de familias	N.º de géneros	N.º de especies
Dicotiledóneas	14	14	16
Monocotiledóneas	11	28	37
Gimnospermas	1	1	1
Polypodiopsida	1	2	4
Marchantiopsida	1	1	1
Jungermanniopsida	1	1	1
Total	29	47	60

Fuente: elaboración propia.

La familia más rica respecto al número de especies es Araceae (5 géneros y 9 especies), seguida por la Poaceae (7/7), Hydrocharitaceae (4/4), Cyperaceae (3/4), Salviniaceae (2/4), Potamogetonaceae (2/3), Typhaceae (1/3), Alismataceae (2/2), Araliaceae, Cannaceae y Nymphaeaceae cuentan con 1 género y 2 especies. Las once familias más ricas concentran el 61,7% del total de los géneros encontrados y el 70% del total de las especies documentadas (tabla 5). En cuanto a nivel de género, *Lemna* es el más rico con cuatro especies, seguido por *Typha*, con tres. Los diez géneros más ricos concentran el 38% de la riqueza registrada (tabla 6).

Tabla 5. Distribución de la riqueza según familias, géneros y especies

Familias	N.º de géneros	N.º de especies
Araceae	5	9
Poaceae	7	7
Salviniaceae	2	4
Cyperaceae	3	4
Hydrocharitaceae	4	4
Typhaceae	1	3
Potamogetonaceae	2	3
Araliaceae	1	2
Cannaceae	1	2
Nymphaeaceae	1	2
Alismataceae	2	2
Aizoaceae	1	1
Amaranthaceae	1	1
Amblystegiaceae	1	1
Araucariaceae	1	1
Asteraceae	1	1
Brassicaceae	1	1
Ceratophyllaceae	1	1
Convolvulaceae	1	1
Cucurbitaceae	1	1

Continúa...

... viene

Familias	N.º de géneros	N.º de especies
Haloragaceae	1	1
Heliconiaceae	1	1
Juncaceae	1	1
Lentibulariaceae	1	1
Linderniaceae	1	1
Onagraceae	1	1
Polygonaceae	1	1
Pontederiaceae	1	1
Ricciaceae	1	1
11 familias más ricas	29 (61,7 %)	42 (70 %)
Familias restantes	18 (38,3 %)	18 (30 %)
Total	47	60

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Géneros más ricos respecto al número de especies

Género	N.º de especies	Porcentaje (%)
<i>Lemna</i>	4	6,7
<i>Typha</i>	3	5,0
<i>Azolla</i>	2	3,3
<i>Canna</i>	2	3,3
<i>Eleocharis</i>	2	3,3
<i>Hydrocotyle</i>	2	3,3
<i>Nymphaea</i>	2	3,3
<i>Potamogeton</i>	2	3,3
<i>Salvinia</i>	2	3,3
<i>Spirodela</i>	2	3,3
<i>Alternanthera</i>	1	1,7
<i>Araucaria</i>	1	1,7
<i>Ceratophyllum</i>	1	1,7
<i>Chrysopogon</i>	1	1,7
<i>Colocasia</i>	1	1,7
<i>Cucumis</i>	1	1,7
<i>Cyperus</i>	1	1,7
<i>Echinochloa</i>	1	1,7
<i>Egeria</i>	1	1,7
<i>Erato</i>	1	1,7
<i>Gynerium</i>	1	1,7
<i>Heliconia</i>	1	1,7
<i>Hydrilla</i>	1	1,7

Continúa...

... viene

Género	N.º de especies	Porcentaje (%)
<i>Ipomoea</i>	1	1,7
<i>Juncus</i>	1	1,7
<i>Leptodictyum</i>	1	1,7
<i>Limnobiium</i>	1	1,7
<i>Limnocharis</i>	1	1,7
<i>Ludwigia</i>	1	1,7
<i>Micranthemum</i>	1	1,7
<i>Myriophyllum</i>	1	1,7
<i>Nasturtium</i>	1	1,7
<i>Paspalum</i>	1	1,7
<i>Phalaris</i>	1	1,7
<i>Phragmites</i>	1	1,7
<i>Pistia</i>	1	1,7
<i>Polygonum</i>	1	1,7
<i>Pontederia</i>	1	1,7
<i>Ricciocarpos</i>	1	1,7
<i>Sagittaria</i>	1	1,7
<i>Schoenoplectus</i>	1	1,7
<i>Sesuvium</i>	1	1,7
<i>Stuckenia</i>	1	1,7
<i>Urochloa</i>	1	1,7
<i>Utricularia</i>	1	1,7
<i>Vallisneria</i>	1	1,7
<i>Wolffia</i>	1	1,7
10 géneros más ricos	23	38,3
Géneros restantes	37	61,7
Total	60	100

Fuente: elaboración propia.

La tabla 7 presenta el número de especies documentadas para la fitorremediación de los diferentes metales pesados. 36 de las 60 especie (60%), son fitorremediadoras para el cadmio (Cd), seguidas por el cobre (Cu) con un 56,6%, el plomo (Pb) con un 55%, el Zinc (Zn) con un 55% y el Cromo (Cr) con un 50%. Menos de la mitad de las especies son fitorremediadoras para los metales pesados restantes, como el níquel (Ni) con un 40%, el arsénico (As) con un 40%, el hierro (Fe) con un 35%, el mercurio (Hg) con un 30%, el manganeso (Mn) con un 25%, el aluminio (Al) con un 10%, el cobalto (Co) con un 8,3%, el magnesio (Mg) con un 6,6%, y menos del 5% para la plata (Ag), uranio (U) y el selenio (Se). Solo se documentó una especie para los metales pesados bario (Ba), indio (In), antimonio (Sb) y el titanio (Ti).

Tabla 7. Número de especies de macrófitas acuáticas documentadas para la fitorremediación de los diferentes metales pesados

Metal	N.º de especies
Cadmio (Cd)	36
Cobre (Cu)	34
Plomo (Pb)	33
Zinc (Zn)	33
Cromo (Cr)	30
Níquel (Ni)	24
Arsénico (As)	24
Hierro (Fe)	21
Mercurio (Hg)	18
Manganeso (Mn)	15
Aluminio (Al)	6
Cobalto (Co)	5
Magnesio (Mg)	4
Plata (Ag)	3
Uranio (U)	3
Selenio (Se)	2
Bario (Ba)	1
Indio (In)	1
Antimonio (Sb)	1
Titanio (Ti)	1

Fuente: elaboración propia.

Pontederia crassipes Mart., *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult. y *Lemna gibba* L., *Pistia stratiotes* L. e *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. son útiles para más de la mitad de los metales pesados mencionados (tabla 3); de ellas, *P. crassipes*, *P. stratiotes*, *L. gibba* cuentan con más estudios realizados. En cuanto a *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., *Azolla microphylla* Kaulf., *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle., *Stuckenia pectinata* (L.) Börner. y *Vallisneria americana* Michx., aunque no se encuentren muestras en los herbarios consultados, probablemente tengan presencia en Colombia. Se destaca que *Limnocharis flava* (L.) Buchenau, *Ludwigia palustris* (L.) Elliott, *Nymphaea ampla* (Salisb.) DC., *Sagittaria latifolia* Willd. y *Utricularia gibba* L., además de ser nativas, pueden contar con un gran potencial para el paisajismo y para la restauración fluvial, un componente importante del proceso de gestión ambiental, encaminado a conseguir la recuperación del estado funcional de un cuerpo de agua (Herrera, 2013; Terneus-Jácome & Yáñez, 2018).

La mayoría de los artículos consultados estaban en inglés (aprox. 70,8%), español (aprox. 20,0%) y portugués (aprox. 9,2%). En cuanto a los años de publicación de las referencias consultadas, para el 2018 hubo el mayor número de publicaciones, seguido de los años 2004 y 2012; asimismo, el número de publicaciones ha aumentado en los últimos años, y se mantienen por encima del promedio (aprox. 6,2) a partir del 2012, a excepción del año 2015 (figura 2).

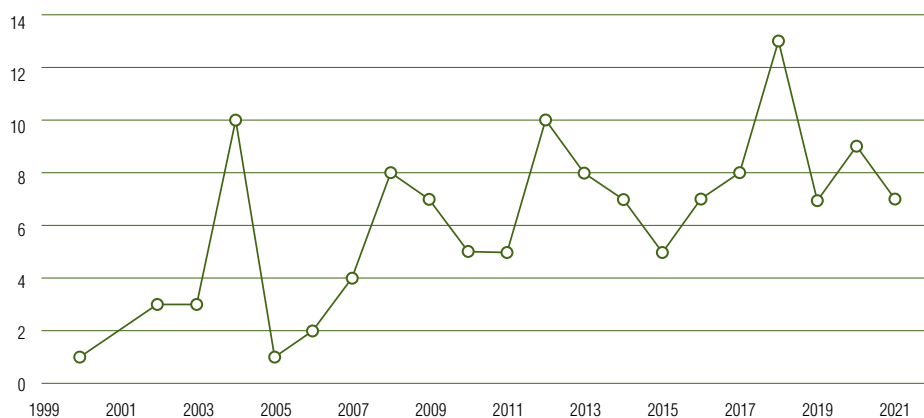


Figura 2. Número de publicaciones anuales con respecto a la fitorremediación de metales pesados.

Fuente: elaboración propia.

Los portales académicos como Dimensions, Google Académico, Springerlink y ScienceDirect presentan la mayor cantidad de publicaciones respecto a este tema (tabla 8). Del mismo modo, tanto Dimensions como Google Académico registran un mayor crecimiento de publicaciones desde el año 2000 hasta el 2021 (figura 3).

Tabla 8. Base de datos y número de publicaciones sobre: especies de macrófitas acuáticas para la fitorremediación de metales pesados, en los tres idiomas (inglés, español y portugués)

Bases de datos	N.º de publicaciones
Dimensions	12817
Google Académico	11755
Springer Link	1166
ScienceDirect	1021
World Wide Science	914
BASE (Bielefeld Academia Search Engine)	310
Redalyc	37
Dialnet	13
Nature	11
Scielo	8

Fuente: elaboración propia.

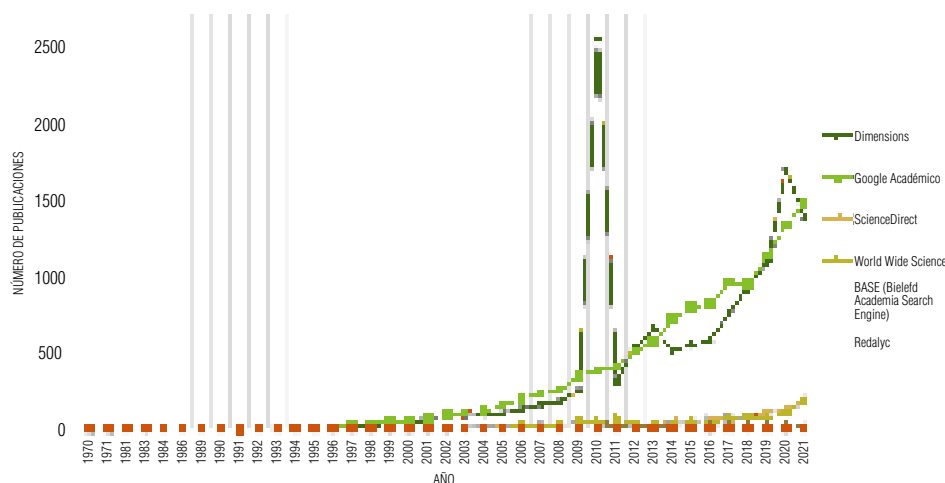


Figura 3. Avance del número de publicaciones realizadas con respecto al año en las diferentes bases de datos sobre: especies de macrófitas acuáticas para la fitorremediación de metales pesados, en los tres idiomas (inglés, español y portugués).

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

A nivel de familia, sobresale que Araceae (5 géneros / 9 especies), Poaceae (7/7), Hydrocharitaceae (4/4), Cyperaceae (3/4) y Salviniaceae (2/4) cuentan con la mayor riqueza de especies y géneros utilizados para este campo. Los cinco géneros más utilizados, excepto *Typha* (2 de sus 3 especies implementadas son nativas) hacen uso de especies nativas. A nivel de especie, las cinco de mayor sensibilidad a más de la mitad de los metales son nativas.

En cuanto al número de publicaciones, aproximadamente el 55,4% se centra en la clase monocotiledónea. Se destacan por su uso extensivo y persistente *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult., *Lemna gibba* L., *Lemna minor* var. *obscura* Austin, *Pistia stratiotes* L., *Pontederia crassipes* Mart. y *Typha latifolia* L. Se ha documentado el carácter invasor de *P. crassipes* (Alcaldía Mayor de Bogotá & Universidad Nacional de Colombia, 2012; Sanabria *et al.*, 2020), por lo cual, se sugiere desarrollar estudios en otros grupos, en aras de diversificar su uso según las particularidades ecológicas de las localidades.

Persisten vacíos en diversos aspectos sobre la sistemática, la taxonomía, la corología, la ecología y los usos potenciales de las macrófitas acuáticas en Colombia. Aún se desconoce mucho sobre estas especies debido a la dificultad y la notable amplitud del campo semántico de este concepto. El aumento de la industrialización ha forzado a buscar alternativas de bajo costo y seguras con el medioambiente, para remediar los daños causados en los ambientes acuáticos. En virtud de ello, se ratifica lo imperante de fomentar la investigación de fitorremediación de metales pesados, enfocada en especies nativas.

Agradecimientos

La autora extiende sus agradecimientos a su familia, compañeros, al profesor Vladimir Minorta-Cely y al Semillero de Investigación Botánica de la Universidad Central (SIBUC). Esta contribución hace parte de los procesos académicos e investigativos de SIBUC.

Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá & Universidad Nacional de Colombia. (2012). *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá* (Díaz-Espinosa A. M., Díaz-Triana J. E., & O. Vargas eds.). https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/11/CatlogodeplantasInvasorasdelosHumedales-debogot.pdf
- Arango, L. E. & Godoy, R. M. (2018). *Análisis multi-temporal de la calidad del agua en la zona de vertimiento de los emisarios submarinos. Caso de estudio: Punta Canoas, Cartagena de Indias* [trabajo de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/6988/A-TESIS%20ARANGO.GODOY%20FINAL%20FINAL%20ULTIMA%20IMPRESION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Atuesta-Ibargüen, D. J. (2019). Composición florística y formas de vida de las macrofitas acuáticas de la serranía de La Lindosa (Guaviare), Guayana colombiana. *Caldasia*, 41(2), 301-312. <https://www.jstor.org/stable/26680473>
- Becerril, J. M., Barrutia, O., Plazaola, J. G., Hernández, A., Olano, J. M. & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 50-55. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Bernal, R., Gradstein, S. R. & Celis, M. (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://shorturl.at/pFSY1>
- Betancur, L. M. A., Mazo, K. I. M. & Mendoza, A. J. S. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1), 57-60. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520110.pdf>
- Bhatti, S. S., Bhat, S. A. & Singh, J. (2020). Aquatic Plants as Effective Phytoremediators of Heavy Metals. En P. Chowdhary y A. Raj (eds.), *Contaminants and Clean Technologies* (pp. 189-199). CRC Press.
- Carpena, R. O. & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 1-3. https://www.researchgate.net/profile/Maria-Bernal-7/publication/39439864_Claves_de_la_fitorremediacion_fitotecnologias_para_la_recuperacion_de_suelos/links/54b8cdd10cf2c27adc48f285/Claves-de-la-fitorremediacion-fitotecnologias-para-la-recuperacion-de-suelos.pdf

- Carpio, B. O. (2016). Contaminación por metales pesados en macrófitas de los principales ríos tributarios del Lago Titicaca. [tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. LA Referencia: Red de repositorios de acceso abierto a la ciencia. https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_a501a959e-0694c6b09edecb5aad5e290
- Cartagena, M. I. (2019). *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018* [trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/13927/1/CartagenaM%C3%B3nica_2019_Biorremediaci%C3%B3nCianuroMiner%C3%ADa.pdf
- Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J. & Thomaz, S. M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. En Balian, E. V., Lévêque, C., Segers, H., Martens, K. (eds.) *Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology*, vol 198 (pp. 9-26). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_2
- Cirujano, S., Molina, A. M. & Murillo, P. G. (2014). *Flora acuática española: hidrófitos vasculares*. Real Jardín Botánico, CSIC. https://flora_acuatica_espanola_hidrofitos_vasculares
- Cortés-Castillo, D. V. (2017). Vegetación estuarina y vegetación acuática de complejos cenagosos del caribe colombiano. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/59487/Denisse>
- Cortés-Castillo, D. & Rangel-Ch, J. (2013). Vegetación acuática y de pantano de las ciénagas del departamento de Cesar (Colombia). En *Colombia Diversidad Biótica XIII: complejo cenagoso Zapatosa y ciénagas del sur del Cesar. Biodiversidad, conservación y manejo*. (pp. 301-329). Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/282264861_Vegetacion_acuatica_y_de_pantano_de_las_cienagas_del_departamento_de_Cesar_Colombia#fullTextFileContent
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R. & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es
- Durán-Suárez, L. R., Terneus-Jácome, H. E., Gavilán-Díaz, R. A. & Posada-García, J. A. (2011). Composición y estructura de un ensamble de plantas acuáticas vasculares de una represa alto andina (Santander), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 33(94), 51-68. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842011000100004&lng=en&tlng=es
- Fernández, M., Bedoya, A. M. & Madriñán, S. (2015). Plantas acuáticas de las planicies inundables de la Orinoquia colombiana. *Biota Colombiana*, 16(1), 96-105. <https://www.redalyc.org/pdf/491/49142418010.pdf>

- Fletcher, J., Willby, N., Oliver, D. M. & Quilliam, R. S. (2020). Phytoremediation Using Aquatic Plants. En Shmaefsky, B. (Ed.), *Phytoremediation In-situ Applications*. <https://doi.org/k4zs>
- García, N., Galeano, G., Salinas, N. R., Cardenas, D. & Saenz, E. C. (Eds.). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia* (Vol. 5). *Las magnoliáceas, las miristicáceas y las podocarpaceas*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31409/121.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, R. A. B. & Reyes, A. S. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 9(16). <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fitorremediacion%20de%20metales%20pesados%20y%20microorganismos.pdf>
- García-Valero, A., Martínez-Martínez, S., Acosta, J. A., Terrero, A., Faz, A., Muñoz, M. A. & Gómez-Garrido, M. (2019, 3-6 de septiembre). *Fitorremediación de aguas residuales industriales mediante humedales artificiales para uso agrícola* [ponencia]. X Congreso Ibérico de Agroingeniería: Libro de actas, Huesca, España. <https://zaguan.unizar.es/record/84481>
- González, I. F., Urrutia, G. & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista española de cardiología*, 64(8), 688-696. <https://doi.org/10.1016/j.recsp.2011.03.029>
- Herrera, T. (2013). *Manual metodológico de actuaciones de restauración ambiental y uso público en ámbitos fluviales*. Diputación de Málaga, Servicio de Ingeniería, Sanidad y Calidad Ambiental. https://www.researchgate.net/publication/285593894_Manual_metodologico_de_actuaciones_de_restauracion_ambiental_y_uso_publico_en_ambitos_fluviales_Manuel_methodologique_dactions_pour_la_restoration_de_bienvironnement_et_pour_lusage_public_des_espac
- Instituto SINCHI (2021). *Herbario Virtual Amazónico Colombiano* [base de datos] <https://www.sinchi.org.co/coah/consulta-de-especimenes-coah>
- Jardín Botánico José Celestino Mutis (2021). *Herbario JBB en línea* [base de datos]. <http://herbario.jbb.gov.co/especimen/simple>
- Jocou, A. I., Fernández, C. & Gandullo, R. (2018). Macrófitas acuáticas vasculares del sistema de drenaje del Alto Valle de Río Negro, Patagonia (Argentina). *Revista del Museo de La Plata*, 3(2), 296-308. <http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/15468/Jocou%20Fernandez%20y%20Gandullo.%20Macrófitas%20acuáticas%20vasculares%20del%20sistema%20de%20drenaje%20del%20Alto%20Valle%20de%20R.%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O. & Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 55(3) 69-83. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

- Madera-Parra, C. A., Peña-Salamanca, E. J. & Solarte-Soto, J. A. (2014). Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 179-188. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332014000200016&lng=en&tlng=es
- Madriñán, S., Rial, A., Bedoya, A. M. & Fernández-Lucero, M. (2017). *Plantas acuáticas de la Orinoquia colombiana*. Universidad de los Andes.
- Mancera-Rodríguez, N. J. & Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000100001&lng=en&tlng=es
- Mera, S. R. (2016). *Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrofitas acuáticas (Eichhornia crassipes y Lemna spp) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo* [trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6174/1/236T0219.pdf>
- Mereles, F., De Egea, J., Céspedes, G., Peña-Chocarro, M. del C. & Degen, R. (2015). *Plantas acuáticas y palustres del Paraguay*. Vol. 1: Bryophyta, Pteridophyta y Angiospermae Monocotyledoneae. Rosasiana.
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuéllar, J., Domancic, S. & Villanueva, J. (2018). Revisiones sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 11(3), 184-186. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Pérez-Vásquez, N. D. S., Arias-Ríos, J. & Quirós-Rodríguez, J. A. (2015). Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del bajo Sinú, Córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 20(3), 155-165. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.45380>
- Poma L., V. R. & Valderrama N., A. C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de Cadmio (II) y Mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 164-173. <https://www.redalyc.org/pdf/3719/371937639003.pdf>
- Posada, J. A. & López, M. T. (2011). *Plantas acuáticas del altiplano del Oriente Antioqueño, Colombia*. Universidad Católica de Oriente.
- Ramos-Montaña, C., Cárdenas-Avella, N. M. & Herrera-Martínez, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Ciencia en desarrollo*, 4(2), 73-82. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882013000200009&lng=en&tlng=es

- Rangel-Ch, J. O. (2010). Vegetación acuática. Caracterización inicial. *Colombia, diversidad biótica IX: ciénagas de Córdoba: biodiversidad, ecología y manejo ambiental*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81890>
- Rangel-Ch, J. O. & Aguirre-C, J. (1983). Comunidades acuáticas altoandinas – I Vegetación sumergida y de ribera en el Lago de Tota, Boyacá, Colombia. *Caldasia*, 13(65), 719-742. <https://www.jstor.org/stable/23641090>
- Rial, A. (2003). El concepto de planta acuática en un humedal de los Llanos de Venezuela. *Mem. Fund. La Salle de Cienc. Nat.*, 155, 119-132. https://www.researchgate.net/publication/281971824_El_concepto_de_planta_acuatica_en_un_humedal_de_los_Llanos_de_Venezuela
- Royal Botanic Gardens, Harvard University Herbaria & Centre for Australian National Biodiversity Research [CANBR]. (2021). *International Plant Names Index* [base de datos]. <https://www.ipni.org/>
- Sanabria M., L., Villamil M., R., Rojas R., J. & Talero, C. (2020). *Plan de Prevención, Manejo y Control del buchón de agua (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/60635ece12e26.pdf>
- Schmidt-Mumm, U. (1998). Vegetación acuática y palustre de la sabana de Bogotá y plano del río Ubaté: ecología y taxonomía de la flora acuática y semiacuática [trabajo de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://www.researchgate.net/profile/Udo-Schmidt-Mumm/publication/263661093_Vegetacion_Acuatica_y_Palustre_de_la_Sabana_de_Bogota_y_Plano_del_Rio_Ubate/links/58c7b580a6fdcc550caa47d0/Vegetacion-Acuatica-y-Palustre-de-la-Sabana-de-Bogota-y-Pl
- Sood, A., Uniyal, P. L., Prasanna, R. & Ahluwalia, A. S. (2012). Phytoremediation potential of aquatic macrophyte, Azolla. *Ambio*, 41(2), 122-137. <https://doi.org/d98wth>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á. & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34). 109-123. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010&lng=en&tlng=es
- Terneus-Jácome, E. & Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
- The Global Biodiversity Information Facility (2021). *What is GBIF?* <https://www.gbif.org/what-is-gbif>
- Tropicos.org (2021). *Missouri Botanical Garden* [base de datos]. <https://tropicos.org>
- Universidad de Antioquia (2021). *Herbario de la Universidad de Antioquia* [base de datos]. <http://www2.udea.edu.co/herbario/paginas/consultas/consultarE-jemplares.iface>

- Universidad Nacional de Colombia (2021). *Colección de plantas virtual*. <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/>
- Urra, M. E. & Barriá, P. R. M. (2010). Systematic review and its relationship with evidence-based practice in health. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 18(4), 824-831. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692010000400023>
- Vera, A., Ramos, K., Camargo, E., Andrade, C., Núñez, M., Delgado, J. & Morales, E. (2016). Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando *Typha dominguensis* y *Canna generalis*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 088-095. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200006&lng=es&tlng=es
- Vera, O. A. (2017). *Flora y vegetación acuática en áreas de la Orinoquia colombiana* [trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63831/FLORA>