

Características, historia natural y aplicaciones de *Hydrocharis laevigata*: Una revisión

Characteristics, natural history, and applications of *Hydrocharis laevigata*: A review

Maybe Ruiz-Merino ^{1*}, Rebeca Campos-Cuellar ¹, Arianne Germán-Gómez ¹, Héctor Aponte ^{1, 2}

- Recibido: 01/Feb/2021
- Aceptado: 12/Ago/2021
- Publicación en línea: 17/Ago/2021

Citación: Ruiz-Merino M, Campos-Cuellar R, Germán-Gómez A, Aponte H. 2022. Características, historia natural y aplicaciones de *Hydrocharis laevigata*: Una revisión. *Caldasia* 44(2):432-441. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.92719>

ABSTRACT

Hydrocharis laevigata, a floating macrophyte belonging to the Hydrocharitaceae family, is known to be an invasive species, its proliferation is frequently caused by its use as an ornamental plant in ponds and aquariums, and by the high morphological plasticity, rapid growth, and spread that has allowed it to colonize natural environments from several continents such as North America, South America, Europe, Africa and part of Oceania. A compilation of the literature on this species is made. It has a high protein content (26-30%) that allows it to be considered for forage for aquatic organisms, and because of the ability to bioaccumulate heavy metals on its roots is also considered an excellent bioremediator. The effectiveness of these properties and purposes allows a better understanding of the life history of *Hydrocharis laevigata*, as well as the establishment of better strategies for its regulation in its distribution zones.

Keywords: Morphological plasticity, invasive species, forage, phytoremediation species.

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas. Escuela de Biología Marina. Universidad Científica del Sur. Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador. -Lima 42, Perú. maybe.ruiz.m@gmail.com, rebeca_campos_cuellar@outlook.es, ariannegerman@gmail.com, haponte@cientifica.edu.pe.

² Coastal Ecosystems of Peru Research Group - COE - Perú. haponte@cientifica.edu.pe.

* Autor para correspondencia.



RESUMEN

Hydrocharis laevigata, una macrófita flotante perteneciente a la familia Hydrocharitaceae, es conocida por ser una especie invasora; su proliferación es causada con frecuencia por su uso como planta ornamental de estanques y acuarios, y por su alta plasticidad morfológica, rápido crecimiento y propagación que le han permitido colonizar ambientes naturales de varios continentes como Norteamérica, Sudamérica, Europa, África y parte de Oceanía. Se realiza una recopilación de la literatura sobre esta especie. Posee un alto contenido proteico (26-30 %) que permite considerarla para forraje de organismos acuáticos y, por su capacidad de bioacumular metales pesados en sus raíces, se considera también buen biorremediador. La efectividad de estas propiedades y propósitos permite un mayor entendimiento de la historia de vida de *Hydrocharis laevigata*, así como el planteamiento de mejores estrategias para su regulación en sus zonas de distribución.

Palabras claves: Plasticidad morfológica, especie invasora, forraje, especie fitorremediadora.

INTRODUCCIÓN

Una de las especies de plantas acuáticas que se ha convertido en una potencial amenaza alrededor del mundo es *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.), Byng & Christenh., la cual presenta diferentes nombres comunes de acuerdo con su distribución geográfica, como “sponge plant” (CDPR 2013), “trébol de agua” (Ramírez y Cano 2011) y “amazon frogbit” (Howard et al. 2016); su propagación está asociada a su creciente empleo en la industria de especies ornamentales y de acuarios, lo que puede desencadenar un impacto negativo en aspectos económicos, sociales e incluso por pérdida de biodiversidad (Padilla y Williams 2004, Urrutia et al. 2017, Pérez y Seewald 2019).

Esta macrófita flotante ha sido objeto de estudio en múltiples investigaciones debido a que presenta características de interés como una rápida propagación, un rápido crecimiento y un uso potencial como forraje (Aponte et al. 2013), asimismo, es considerada una gran fitorremediadora para el tratamiento de aguas servidas (Valderrama 1996, Arán et al. 2017) y como captadora de carbono (Aponte 2016).

Esta revisión realiza un compendio de la literatura descriptiva y experimental de *Hydrocharis laevigata* que consideramos servirá como guía para futuras investigaciones sobre esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo considera información de artículos científicos de bases de datos como Jstor, Scopus, ScienceDirect, Scielo y Redalyc; del buscador Google Académico que incluye tesis de licenciatura, maestrías y doctorados, y de sitios web oficiales de biodiversidad como el Missouri Botanical Garden (www.missouribotanicalgarden.org/), GBIF (www.gbif.org/) y CABI (www.cabi.org/) para extraer datos asociados a *Hydrocharis laevigata*. Cabe mencionar que la información seleccionada proviene de organizaciones reconocidas que recopilan datos relevantes de naturaleza académica o científica. Se recogieron datos que comprenden el periodo de 1983 a 2021; la búsqueda de información se hizo considerando palabras claves como: *Limnobium laevigatum*, *Hydromistria*, *Hydrocharis laevigata*, Hydrocharitaceae, “trébol de agua”, “spongeplant” y “amazon frogbit”.

RESULTADOS

Taxonomía y nomenclatura de *Hydrocharis laevigata*

Hydrocharis laevigata (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. es una angiosperma perteneciente a la familia Hydrocharitaceae. Esta familia está comprendida en su mayoría por especies de ambientes acuáticos tropicales o subtropicales (Cook y Urmí-König 1983). La especie presenta por basiónimo a *Salvinia laevigata* Humb. & Bonpl.

ex Willd., presentando semejanzas con los géneros *Limnobium* e *Hydromystria*, pero diferenciándose por la morfología floral, específicamente en el perianto, androceo y fruto (Díaz-Miranda *et al.* 1981). Debido a estas semejanzas, Hunziker (1982) describió la especie con el nombre de *Hydromystria laevigata* (Willd.) A.T. Hunziker; tras una revisión posterior de la especie y debido a sus similitudes morfológicas con *Limnobium spongia* (Bosc) Steudel, *Hydromystria laevigata* fue incluida en el género *Limnobium*, bajo el nombre *Limnobium laevigatum* (Cook y Urmi-König 1983). Investigaciones posteriores (Cook y Urmi-König 1983, Tanaka *et al.* 1997, Les *et al.* 2006, Von Mering y Kadereit 2010) concluyeron que *Limnobium* debe ser incluido en el género *Hydrocharis* debido a las similitudes morfológicas presentes entre ambos. Trabajos recientes como el de Bernardini y Lucchese (2018), confirmaron una estrecha relación entre ambos géneros, sugiriendo que se encuentran relacionados filogenéticamente y están en un clado más grande que incluye todos los géneros de la familia Hydrocharitaceae. Así, actualmente la especie tiene como nombre *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. (Martínez-Sagarra *et al.* 2021).

La base de datos Tropicos del Missouri Botanical Garden (tropicos.org) nos permite conocer los nombres no reconocidos y sinónimos de *H. laevigata*. Para esta especie el nombre de *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.V. Morton se reconoce como ilegítimo; algunos de sus sinónimos son *Hydrocharella echinospora* Spruce ex Benth. & Hook. f., nombre reconocido como inválido, *Hydrocharis stolonifera* (G. Mey.) Kuntze, *Hydromystria laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Hunz. nombre legítimo, e *Hydromystria laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Díaz-Mir. & Philcox, nombre ilegítimo, de un total de catorce sinonimias.

Morfología y anatomía

La especie presenta tallos estoloníferos y erectos con raíces fasciculadas en los nudos, las raíces principales miden 2 mm de diámetro y hasta 30 cm de largo aproximadamente, mientras que las raíces menores pueden medir 1 mm de diámetro y con poca frecuencia miden más de 10 cm de longitud; sus hojas miden 20-50 mm x 8-40 mm, de forma circular o elíptica, con un ápice que varía en forma desde obtuso a acuminado y con una base reniforme, con estípulas de hasta 22 mm de largo; peciolas de las hojas aéreas que miden de 26 a 270 mm de largo y los pecio-

los de las hojas flotantes miden de 5 a 85 mm de longitud (Cook y Urmi-König 1983, Lourenço y Bove 2017, Del Corro *et al.* 2019). Es monoica y presenta inflorescencias unisexuales, caracterizándose por tener flores pequeñas y blancas (Boettcher 2007, Iturbide 2008). Asimismo, Cook y Urmi-König (1983) y Lowden (1992) indican que la parte floral masculina está formada por espatas, una bráctea inferior que mide de 5-24 mm de largo y de 6-13 mm de ancho, una bráctea superior de 9-30 mm de largo y de 8-20 mm de ancho, pueden contener hasta once flores y tener un pedúnculo que mide hasta 25 mm de longitud; con sépalos elípticos, con 1-2 pétalos que varían en forma de lineales a lanceolados o lobulados, con seis estambres (con poca frecuencia hasta nueve) dispuestos en dos o tres verticilos trímeros, y el polen mide entre 21 y 37 μ m de diámetro; mientras que la parte floral femenina está formada por espatas con brácteas que miden hasta 24 mm de longitud, puede presentar hasta tres flores, un pedúnculo de 2 mm de largo o ausente, un pedicelo que mide hasta 40 mm de longitud en anthesis haciéndose más largo en fruto, los sépalos son elípticos, los pétalos por lo general están ausentes pero pueden ser hasta tres, pocos estigmas (un poco menos bífida), carpelos abiertos con un ovario elíptico loculado con 3-6 placentas parietales, un fruto que varía en forma de elipsoidal a obovoidal que puede contener hasta 100 semillas y mide entre 1,7 y 5 mm de diámetro, y las semillas pueden medir en longitud de 0,8 a 1,2 mm, de ancho 0,6 a 0,8 mm y el tricoma mide de 0,1 a 0,2 mm de longitud.

Esta especie tiene una alta plasticidad morfológica, por ejemplo, se ha reportado que sus poblaciones poseen variantes florales las cuales presentan un menor número de piezas y tamaños más reducidos en las regiones australes, de manera coincidente, aquellas poblaciones de distribución más sureña presentan un mayor número de cromosomas cuyo número diploide varía de 26 a 30 (Lowden 1992).

Reproducción

Esta especie presenta reproducción sexual y asexual. La reproducción sexual se genera por medio de la polinización y producción de semillas. Presenta flores masculinas y femeninas en la misma planta (monoica), donde el polen de las flores masculinas poliniza las flores femeninas (Acevedo-Rodríguez y Strong 2005). Las flores se abren preferiblemente en condiciones de baja radiación solar (Boettcher 2007). El mecanismo de polinización más efectivo en

H. laevigata es la entomofilia y la polinización superficial, esta última hace referencia a la dispersión del polen en la superficie del agua hasta alcanzar los estigmas de la flor femenina (Lowden 1992). Luego de la polinización, el pedicelo de las flores femeninas se dobla hacia abajo, donde se desarrolla el fruto sumergido en el agua, este presenta entre 4 y 13 mm de longitud y entre 2 y 5 mm de diámetro, y al romperse libera una masa mucilaginosa que contiene hasta 100 semillas (Cook y Urmi-Köng 1983). Las semillas, generan pequeñas plántulas flotantes similares a las “Lentejas de agua” (*Lemna* spp.) con un diámetro entre 0,2 y 2 cm, las cuales se dispersan fácilmente con la corriente del agua, mediante el viento, o son transportadas por aves acuáticas, botes o incluso se adhieren a las plantas del “Jacinto de agua” (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) (Anderson 2011).

H. laevigata también puede reproducirse vegetativamente por medio de la reproducción asexual o clonal. Presenta estolones, de los cuales surgen nuevas copias de la planta llamados rametos, y el conjunto de los rametos provenientes de una misma semilla o planta madre, se llama geneto (Aponte y Pacherras 2013); al fragmentarse los estolones, se forman nuevos individuos (Boettcher 2007). Estas rosetas flotantes, se pueden desprender fácilmente debido a la corriente de agua, permitiendo una rápida colonización. El incremento de su biomasa se ve favorecida en la época de mayor temperatura y horas de foto-iluminación, cubriendo grandes áreas acuáticas (Boettcher 2007, Anderson 2011).

Distribución nativa

Lowden (1992) establece la distribución nativa de *H. laevigata* en áreas tropicales y subtropicales desde el sur de Norteamérica a Sudamérica (corotipo neotropical). Esta especie se puede ver en Norteamérica: México, en América Insular: Antigua y Barbuda, Cuba, República Dominicana, Guadalupe, Martinique, Montserrat, St. Lucía, Trinidad y Tobago, y Puerto Rico; en Centroamérica: Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá; y en Sudamérica: Colombia, Venezuela, Guyana Francesa, Guyana, Surinam, Ecuador, Perú, Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina (BFG 2015, Lourenço y Bove 2017, USDA-ARS 2016).

En condiciones naturales, *H. laevigata* habita ecosistemas de agua dulce como lagos, manantiales, represas, pantanos y canales (Bonilla-Barbosa y Santamaría 2010, USDA 2013); de acuerdo con Cook y Urmi-Köng (1983) la es-

pecie tiene preferencia por climas húmedos, puede encontrarse en regiones con altitudes elevadas y está asociada a zonas con clima de estepa y lluvias.

En la actualidad, se desconoce el estado de conservación de *H. laevigata* a nivel mundial (IUCN 2019), sin embargo, la especie se encuentra protegida dentro del Área Natural Protegida Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima, Perú), perteneciente a sitios Ramsar (Convención de Humedales de Importancia Internacional: <https://www.ramsar.org/>).

Relaciones ecológicas con otras especies

Además de formar densas comunidades, *H. laevigata* puede formar asociaciones con otras especies de plantas acuáticas flotantes como *Azolla filiculoides* Lam., *Lemna gibba* L., *S. auriculata* Aubl. y *Salvinia minima* Baker (Wijninga et al. 1989, Milne et al. 2007). También, forma parte de la dieta de especies como la “polla de agua negra” (*Gallinula chloropus galeata* Linnaeus, 1758), “el cisne cuellinegro” (*Cygnus melancoryphus* Lichtenstein, 1818) (Beltzer et al. 1991, Corti y Schlatter 2002), el “pato cariblanco” (*Anas bahamensis* Linnaeus, 1758) (Rodríguez-Villamil y Alvarez-Moya 2020) y de artrópodos como el saltamontes *Paulinia acuminata* De Geer, 1773 (Carbonell et al. 2006).

Milne et al. (2007) evaluaron la interacción entre *H. laevigata* y otras especies acuáticas flotantes, demostrando que *H. laevigata* es competitiva en presencia de *Salvinia auriculata* Aubl. y produce una biomasa final menor en presencia de *Pistia stratiotes* L., *Lemna minor* (L.) Griff y *Salvinia minima*.

Invasividad

En las últimas décadas, la introducción y comercialización de *H. laevigata* ha ido aumentando en respuesta a la creciente demanda para la jardinería acuática y acuariofilia; esta especie ofrece beneficios en aspectos de ámbito paisajístico y actúa como un purificador de acuarios (Kadono 2004). Esto, ha tenido como consecuencia su expansión en áreas de América del Norte (Gaimari y O’Donnell 2009), en Australia Occidental (Del Corro et al. 2019) y Japón (Kadono 2004); se presume que su forma de invasión puede ocurrir mediante la liberación accidental o voluntaria de sus propágulos (Del Corro et al. 2019); del mismo modo, en Sudamérica se ha evidenciado su comercialización en mercados públicos cercanos a su zona de distribución (Fig. 1).



Figura 1. *Hydrocharis laevigata* comercializada en un mercado de Lima (“Sarita Colonia”; Chorrillos, Lima – Perú, mayo 2014). **a.** *H. laevigata* siendo comercializada junto a *Eichhornia crassipes*. **b.** Acercamiento de un ejemplar de *H. laevigata*.

Existen muchas investigaciones sobre la introducción de *H. laevigata* en países de varios continentes, siendo registrada como una especie potencialmente invasora en Estados Unidos, España, Australia, Reino Unido, Hungría, Rusia, Suecia, Bélgica, Indonesia, Japón, Taiwán, Zimbabue, Perú, Chile y Zambia (Cook y Urmi-Konig 1983, Brako y Zarucchi 1993, San Martín y Boetscher 2003, Kadono 2004, Gaimari y O’Donnell 2009, Ramírez y Cano 2011, Howard *et al.* 2016, CABI 2019, Del Corro *et al.* 2019, GBIF 2020, Martínez-Sagarra *et al.* 2021).

En Norteamérica, el comportamiento invasor de *H. laevigata* ha sido evidente en el estado de California (Estados Unidos) (Anderson 2011), siendo catalogada como una especie invasora en el año 2012 bajo el proyecto de ley 1540 de los Estados Unidos clasificándose como hierba nociva calificación “A”; esto permite utilizar métodos de erradicación y contención cuando es hallada (Buchanan 2012, Perryman 2013).

En el año 1981, Hunziker (1981) localizó por primera vez a *H. laevigata* en la provincia de Córdoba (Argentina). Posteriormente, se muestra una ampliación hacia la provincia de la Pampa, cuyo ingreso pudo haber sido facilitado por el lavado de la maquinaria vial que transita en los alrededores (Muiño 2016). Un reporte posterior indicó la extensión de la especie hacia la provincia del río Negro y Neuquén (Zuloaga *et al.* 2008, Pérez y Sewald 2019), a pesar de que el clima de estas zonas es árido mesotermal, seco y con intervalos de helada, la especie ha mostrado ser capaz de resistir estas variables climáticas y proliferar (Conti 1998). A pesar de que la información sobre *H. laevigata* en otros

países de Sudamérica, como por ejemplo Chile, es escasa, esta especie está clasificada como de “alto riesgo” (Urrutia *et al.* 2017).

La invasividad de *H. laevigata* ha sido reportada también en la península Ibérica (España), apareciendo en el río Manzanares (provincia de Madrid) como especie naturalizada, aunque no se excluye la posibilidad de encontrar nuevas poblaciones, ya que algunos puntos del río no eran accesibles (Del Corro *et al.* 2019); un último reporte, indica su presencia en el arroyo Martín Gonzalo en la provincia de Córdoba, un hallazgo novedoso perteneciente a la flora andaluza (Martínez-Sagarra *et al.* 2021).

El primer registro de *H. laevigata* en África fue en el año 2005, pero es hasta el 2009 que se logró certificar su identificación; a lo largo de los años esta especie se ha establecido por lo menos en dos cuerpos de agua en Harare, Zimbabue y en el río Zambezi. Esto demuestra que *H. laevigata* es una especie potencialmente invasora en aguas continentales fuera de su zona natural de distribución, por ello resulta necesario cartografiar y detectar la distribución actual de esta especie (Howard *et al.* 2016).

Las plantas acuáticas invasoras son reconocidas por causar gran pérdida de biodiversidad, modificar el ecosistema donde se establecen y provocar homogeneización biótica (McKinney y Lockwood 1999, Vilà *et al.* 2011), especialmente en ambientes límnicos (Ricciardi y MacIsaac 2011). Urrutia *et al.* (2017) mencionan que dentro de los impactos más comunes que ocasiona *H. laevigata* está la variación en las condiciones fisicoquímicas del agua, la reducción de actividades recreativas y la obstrucción del crecimiento

de otras especies florísticas. Su concentración puede llegar a ser de hasta 2500 plantas/m² (CABI 2019), bloqueando el acceso a vías navegables y de las aves acuáticas, generando una reducción en los niveles de oxígeno, impidiendo el ingreso de luz y alterando los procesos químicos del ciclo de carbono y el ciclado de nutrientes (DiTomaso 2010, García Murillo et al. 2010, APHIS 2013).

Prevención y Control

Debido al alto grado de invasividad que *H. laevigata* puede presentar, se han tomado medidas para su prevención como la implementación de programas de monitoreo; mientras que para su control se han aplicado métodos manuales, métodos mecánicos como la extracción con maquinaria pesada, y métodos químicos utilizando el dibromuro de diquat con glifosato como herbicida (Anderson 2011, CDPR 2013, Ta et al. 2017); cabe resaltar que hasta la fecha el estado de California (Estados Unidos) ha implementado los métodos mencionados, pero aún existen pocos datos de la eficiencia del glifosato sobre *H. laevigata* (CDPR 2013). Willis et al. (2018) probaron herbicidas a nivel de laboratorio para el control de *H. laevigata*, indicando que el uso de 280 gramos de imazamox ha⁻¹ (con surfactante de aceite de semilla metilado al 1 %) es lo suficientemente potente para ser empleado en todas las etapas del crecimiento de la especie, y que la aplicación de 70 gr de penoxsulam ha⁻¹ es una alternativa para el control del crecimiento de su plántula y roseta.

Condiciones de cultivo y productividad

Se han realizado distintas investigaciones con el objetivo de maximizar la propagación de *H. laevigata* y aumentar su productividad en sistemas controlados (Aponte y Pacherras 2013, Aponte 2016, Campos-Cuellar y Aponte 2020, Troncoso-Gómez y Aponte 2020). En todas las investigaciones se evaluó el desarrollo de *H. laevigata* cuantificando parámetros de crecimiento como la biomasa, área ocupada, tamaño de las raíces, producción de hojas (incluyendo muertas y cloróticas) y tasa de crecimiento relativo.

Los elementos clave para su propagación incluyen en mayor proporción nitratos con respecto al amonio; asimismo la especie crece mejor en condiciones medias de fósforo (18,11 %), potasio (4,9 %), calcio (33,45 %), nitrógeno (19,6 %), magnesio (7,91 %) y azufre (15,61 %); y en menor proporción hierro (0,11 %), manganeso (0,04 %), zinc (0,04 %), cobre (0,01 %), boro (0,22 %) y molibdeno (0,01 %) (proporciones basadas en el trabajo de Aponte y

Pacherras 2013). Aponte y Pacherras (2013) evaluaron su crecimiento en cinco concentraciones de nutrientes (0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X) y encontraron que valores altos (50X y 100X) generan toxicidad y muerte en *H. laevigata*, mientras que, la menor concentración (0X) generó una deficiencia de clorofila en las hojas desarrollando clorosis. Además, una reciente investigación puso en evidencia que bajos valores de la proporción NO₃⁻:NH₄⁺ generan la muerte de esta planta, mientras que altos valores favorecen su crecimiento (Campos-Cuellar y Aponte 2020).

Las condiciones lumínicas que requiere el trébol de agua fueron evaluadas por Aponte (2016), mostrando que la producción de biomasa aumenta a mayor cantidad de luz (tratamiento con un promedio de 142,6 umol/m²/seg) y cuando la planta se encontró en bajas condiciones lumínicas (promedio de 11,21 umol/m²/seg) hubo mayor clorosis y menor productividad. Con respecto a las condiciones de salinidad, *H. laevigata* tuvo un mayor crecimiento en una concentración de 1454 ± 145 ppm, la cual corresponde al menor nivel de sales evaluado por Troncoso-Gómez y Aponte (2020); en la misma investigación se evaluó la influencia de la aireación, evidenciando que el trébol de agua tuvo un mayor desarrollo en los tratamientos sin aireación, pudiéndose deber a que estas condiciones se asemejan más al hábitat de esta hidrófita flotante.

Aplicaciones y potenciales usos de la especie

En contraste con sus características de invasividad, numerosos trabajos de investigación han demostrado el gran potencial de *H. laevigata* como especie fitorremediadora (Valderrama 1996, Chang et al. 2016, Olkhovych et al. 2016, Carhuaricra 2019, Sudiarto et al. 2019, Bao et al. 2020); la especie logra remover hasta el 80 % de la materia orgánica reduciendo la demanda química de oxígeno (DQO) (Murillo-Castillo et al. 2012), además, su acción de filtro biológico mediante sus raíces permite la retención de metales pesados como el cromo (Hernández y Rincón 2014, Arán et al. 2017, Fernández San Juan et al. 2018, Martino et al. 2019). Con el propósito de probar su eficiencia durante la biorremediación de sedimentos de ríos urbanos contaminados con alto contenido de nutrientes, humus, materia orgánica y metales pesados (Sun et al. 2015). La planta logró eliminar un 99 % de nitratos y sulfatos del sedimento, mostrando que se puede integrar en una moderna tecnología alternativa *in situ* (He y Angenent 2006, Mohan et al. 2010, Kabutey et al. 2020).

Por otro lado, *H. laevigata* ha sido utilizada para la generación de corriente eléctrica en celdas de combustible microbiano de sedimentos de plantas (siglas en inglés: PSMFC) y debido a sus reconocidas características, la especie ha servido de inspiración para la fabricación de un nanogenerador que puede producir una potencia eléctrica de 248,57 / 107,38 mW m⁻² bajo 1-sol / 0-sol utilizando el proceso de transpiración de la planta para generar electricidad y producir agua dulce en lagos, ríos y estanques (Dao *et al.* 2020).

Existen investigaciones asociadas a plantas acuáticas como materia prima para la alimentación de organismos acuáticos y ganadería (Juday 1943, Reid Jr 2004, Jafari 2010, Mwale y Gwaze 2013, Soñta *et al.* 2019). Corti y Schatteler (2002) descubrieron que esta especie puede presentar un 16 % de contenido proteico en peso seco en condiciones naturales, y Aponte *et al.* (2013) obtuvieron valores proteicos elevados (26 % - 30 %) y un bajo contenido de fibras (7 %) en peso seco. Todo ello nos indica que la especie tiene un alto potencial como forraje, aunque aún son necesarios mayores estudios sobre digestibilidad, palatabilidad y producción que permitan evaluar el costo/beneficio de esta aplicación. El “trébol de agua” puede producir una media de 1,28 T/ha/año de proteínas, siendo mayor a la producción de otras especies como *Justicia americana* (L.) Vahl., *Sagittaria latifolia* Willd. y *Nymphoides aquatica* (Walt.) Kuntze, entre otras (Aponte 2017). Por otro lado, *H. laevigata* presenta una productividad media de 1,79 T/ha/año de carbono, obteniendo un valor similar a sistemas agroforestales destinados a la captura de carbono (Soto-Pinto *et al.* 2001, Aponte 2017).

CONCLUSIONES

Esta revisión bibliográfica comprende características de historia taxonómica, morfológicas, reproductivas, aspectos de historia natural, distribución y extensión, invasividad y los métodos de control propuestos debido a las amenazas que trae consigo. También se ha recopilado información sobre los distintos beneficios ambientales y económicos que genera, presentando referencias sobre las condiciones de cultivo óptimas para potenciar su crecimiento y desarrollo. Resaltamos que la comprensión de la historia de vida de *H. laevigata* generará un mayor entendimiento en los rasgos de distribución y su invasividad, así como el planteamiento de mejores estrategias para su contención

y aprovechamiento. Estudios futuros deberán enfocarse en su control en aquellos ambientes donde se ha identificado como especie problemática. Asimismo, el estudio de aspectos relacionados con su propagación en sistemas controlados será valioso, con la finalidad de beneficiarnos de la especie sin incurrir en potenciales invasiones futuras.

PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES

MRM: concepción, diseño, recolección de información y redacción del documento. RCC: diseño, recolección de información y redacción del documento. AGG: diseño, recolección de información y redacción del documento. HA: concepción, diseño, recolección de información y revisión del documento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Científica del Sur y California State Parks por facilitarnos la documentación necesaria para la redacción del presente trabajo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflicto de interés

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Rodríguez P, Strong MT. 2005. Monocotyledons and gymnosperms of Puerto Rico and the Virgin Islands. *Taxon* 52(1):1-249. doi: <https://doi.org/10.2307/25065559>
- Anderson L. c2011. Sponge Plant spreading in the Delta. *Cal-IPC News* 19: 4-5.
- APHIS. c2013. Weed Risk Assessment for *Limnobiium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Hydrocharitaceae) – South American spongeplant. [Revisada en: 10 nov 2020]. https://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/weeds/downloads/wra/Limnobiium_laevigatum_WRA.pdf
- Aponte H, Pachterres CO. 2013. Crecimiento y propagación de *Limnobiium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes. *Biol.* 11(1):69-78.
- Aponte H, Segura C, Francia JC. 2013. Análisis químico proximal de *Limnobiium laevigatum* y su potencial para su uso como forraje. *Científica* 10(2):158-67.
- Aponte H. 2016. Crecimiento de *Limnobiium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes condiciones lumínicas. *Biol.* 14(2):297-305.

- Aponte H. 2017. Productividad de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo condiciones de laboratorio. *Polibotánica* 44:157-166. doi: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.12>
- Arán DS, Harguinteguy CA, Fernandez-Cirelli A, Pignata ML. 2017. Phytoextraction of Pb, Cr, Ni, and Zn using the aquatic plant *Limnobium laevigatum* and its potential use in the treatment of wastewater. *Environ. Sci. Pollut. R.* 24(22):18295-18308. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9464-9>
- Bao P, Li G-X, He Y-Q, Ren H-Y. 2020. Selenium nanovirus and its cytotoxicity in selenite-exposed higher living organisms. *Biochem. Biophys. Rep.* 21:100733 doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100733>
- Beltzer AH, Sabattini RA, Marta MC. 1991. Ecología alimentaria de la polla de agua negra *Gallinula chloropus galeata* (Aves: Rallidae) en un ambiente léntico del río Paraná Medio. *Argentina. Ornitol. Neotrop.* 2:29-36.
- Bernardini B, Lucchese F. 2018. New Phylogenetic Insights Into Hydrocharitaceae. *Ann. di Bot.* 8:45-58. doi: <https://doi.org/10.4462/annbotrm-13970>
- [BFG] The Brazil Flora Group. 2015. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. *Rodriguésia* 66(4):1085-1113. doi: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>
- Boettcher C. 2007. Variación Comparativa de Biomasa Estacional en dos Macrófitos de la Región de Valdivia, Chile. [Tesis]. [Chile]: Universidad Austral de Chile.
- Bonilla-Barbosa J, Santamaría B. 2010. Hydrocharitaceae. Flora del Bajío y de Regiones adyacentes. *Acta. Bot. Mex.* 168:1-11.
- Brako L, Zarucchi JL. 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 45:1-1286.
- Buchanan J. c2012. Sacramento-San Joaquin Delta: invasive weeds: South American Spongeplant. California Assembly Bill 1540. [Revisada en: 10 nov 2020] https://leginfo.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201120120AB1540
- CABI. c2019. Invasive Species Compendium *Limnobium laevigatum* (South American spongeplant). [Revisada en: 10 may 2021]. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/115273>
- Campos-Cuellar R, Aponte H. 2020. Crecimiento de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo cuatro proporciones diferentes de NO₃⁻: NH₄⁺ en condiciones de laboratorio. *Polibotánica* 49:97-107. doi: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.7>
- Carbonell C, Cigliano M, Lange C. c2006. Especies de Acridomorfos [Orthoptera] de Argentina y Uruguay. [Revisado en: 17 may 2021]. <https://biodar.unlp.edu.ar/acridomorph/>
- Carhuaricra Ferrer P. 2019. Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Laguna Facultativa en la localidad de Pacaypampa, Distrito de Santa María del Valle (Huánuco), Agosto–Setiembre 2018. [Tesis]. [Huánuco]: Universidad de Huánuco.
- [CDPR] California Department of Parks and Recreation. c2013. Water Hyacinth and Sponge Plant Control Programs: Water Hyacinth Control Program and Sponge Plant Control Program Aquatic Pesticide Application Plan. [Revisada en: 16 nov 2020]. <https://dbw.parks.ca.gov/pages/28702/files/WHCP%20SCP%20Aquatic%20Pesticide%20Application%20Plan%202013.pdf>
- Chang Y, Zhu P, Wu B, Zhuang T. 2016. The study of green energy equipment with floating plants to purify the sewage water. *J. Taiwan Agric. Eng.* 62: 77-88.
- Conti HA. 1998. Características climáticas de la Patagonia. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Cook CDK, Urmi-Konig K. 1983. A revision of the genus *Limnobium* including *Hydromystria* (Hydrocharitaceae). *Aquat. Bot.* 17(1): 1–27. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90015-3)
- Corti P, Schlatter RP. 2002. Feeding ecology of the Black-necked Swan *Cygnus melancoryphus* in two wetlands of Southern Chile. *Stud. Neotrop. Fauna. Environ.* 37(1): 9–14. doi: <https://doi.org/10.1076/snfe.37.1.9.2118>
- Dao VD, Vu NH, Choi H-S. 2020. All day *Limnobium laevigatum* inspired a nanogenerator self-driven via water evaporation. *J. Power Sources.* 448: 227388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227388>
- Del Corro M, Izuzquiza A, Cirujano S. 2019. Primera cita de la especie potencialmente invasora *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Hydrocharitaceae) en la Península Ibérica. *BVnPC.* 8(109): 75-80.
- Díaz-Miranda D, Philcox D, Denny P. 1981. Taxonomic classification of *Limnobium* Rich. and *Hydromystria* G. W. F. Meyer (Hydrocharitaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* 83(4):311-323. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1981.tb00354.x>
- DiTomaso JM. c2010. Watch out for these red alert weeds! *Cal IPC News.* 17(4):4-7. [Revisada en: 29 nov 2020]. https://www.cal-ipc.org/docs/resources/news/pdf/Cal-IPC_News_Winter10.pdf
- Fernández San Juan MR, Albornoz CB, Larsen K, Najle R. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in *Limnobium laevigatum* and *Ludwigia peploides*: their phytoremediation potential in water contaminated with heavy metals. *Environ. Earth. Sci.* 77(11):404. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7566-4>
- Gaimari S, O'Donnell M. 2009. California plant pest & disease report Jan. 2008 - Dec. 2009. *CPPDR.* 25:110
- García Murillo P, Fernández Zamudio R, Cirujano Bracamonte S. 2010. Habitantes del agua Macrófitos. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Agencia Andaluza del Agua.
- GBIF.ORG. c2020. Global Biodiversity Information Facility. [Revisada en: 27 nov 2020] <https://www.gbif.org/es/species/5329643>
- He Z, Angenent LT. 2006. Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells. *Electroanalysis* 18(19-20): 2009-2015. doi: <https://doi.org/10.1002/elan.200603628>

- Hernández A, Rincón S. 2014. Capacidad fitorremediadora del Buchón de Agua (*Limnobium laevigatum*) mediante la evaluación de la adsorción del cromo trivalente. [Tesis]. [Bogotá]: Fundación Universitaria Agraria de Colombia.
- Howard GW, Hyde MA, Bingham MG. 2016. Alien *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Hydrocharitaceae) becoming prevalent in Zimbabwe and Zambia. *Bioinvasions Rec.* 5(4):221-225. doi: <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2016.5.4.05>
- Hunziker AT. 1981. *Hydromystria laevigata* (Hydrocharitaceae) in central Argentina. *Lorentziana* 4:5-8.
- Hunziker AT. 1982. Observaciones biológicas y taxonómicas sobre *Hydromystria laevigata* (Hydrocharitaceae). *Taxon* 31(3):472-477. doi: <https://doi.org/10.2307/1220676>
- Iturbide K. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. [Tesis]. [Guatemala]. Universidad de San Carlos.
- [IUCN]. c2019. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. [Revisada en: 16 may 2021]. <https://www.iucnredlist.org/>
- Jafari N. 2010. Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart Solms). *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 14(2):43-49. doi: <https://doi.org/10.4314/jasem.v14i2.57834>
- Juday C. 1943. The utilization of aquatic food resources. *Science* 97(2525):456-458. doi: <https://doi.org/10.1126/science.97.2525.456>
- Kabutey FT, Ding J, Zhao Q, Antwi P, Quashie FK. 2020. Electrical current generation from a continuous flow macrophyte biocathode sediment microbial fuel cell (mSMFC) during the degradation of pollutants in urban river sediment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27:35364-35380. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09812-y>
- Kadono Y. 2004. Alien aquatic plants naturalized in Japan: History and present status. *Glob. Environ. Res.* 8(2):163-169.
- Les DH, Moody ML, Soros CL. 2006. A reappraisal of phylogenetic relationships in the monocotyledon family Hydrocharitaceae (Alismatidae). *Aliso* 22(1): 211-230. doi: <https://doi.org/10.5642/aliso.20062201.18>
- Lourenço AR, Bove CP. 2017. Flora of Rio de Janeiro: Hydrocharitaceae. *Rodriguésia* 68(1):43-50. doi: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768108>
- Lowden RM. 1992. Floral variation and taxonomy of *Limnobium* LC Richard (Hydrocharitaceae). *Rhodora* 94(878): 111-134.
- Martínez-Sagarra G, García Murillo P, Devesa JA. 2021. *Hydrocharis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Byng & Christenh. (Hydrocharitaceae), novedad para la flora de Andalucía (España). *Acta Bot. Malac.* 46. doi: <http://doi.org/10.24310/abm.v46i.11403>
- Martino L, Fernández San Juan MR, D'Angelo C. c2019. Remoción de Cr en sedimentos de fondo contaminados mediante un sistema de contención con *Limnobium laevigatum*. In V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU) (La Plata, 12 al 14 de junio de 2019). [Revisada en: 20 nov. 2021]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77644>
- Mckinney ML, Lockwood JL. 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends. Ecol. Evol.* 14(11):450-453. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01679-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01679-1)
- Milne J, Lang P, Murphy K. 2007. Competitive interactions between *Salvinia auriculata* Aubl., *Limnobium laevigatum* (Humb. and Bonpl. ex Willd.) Heine, and other free-floating aquatic macrophytes under varying nutrient availability. *Fundam. Appl. Limnol.* 169(2):169-176. doi: <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2007/0169-0169>
- Mohan SV, Mohanakrishna G, Chiranjeevi P, Peri D, Sarma PN. 2010. Ecologically engineered system (EES) designed to integrate floating, emergent and submerged macrophytes for the treatment of domestic sewage and acid rich fermented-distillery wastewater: evaluation of longterm performance. *Bioresour. Technol.* 101(10): 3363-3370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.027>
- Muñoz WA. 2016. *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae), nuevo registro para la flora de la provincia de la pampa, Argentina. *Semiárida* 26(1): 25-27. doi: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2016\(01\).25-27](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2016(01).25-27)
- Murillo-Castillo P, Novoa-Acuna L, Rodríguez-Miranda J. 2012. Evaluación de un humedal artificial de flujo superficial con *Limnobium laevigatum* para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias) en Bogotá D.C., Colombia. *TecnoAmbiente* 232(22): 9-16.
- Mwale M, Gwaze FR. 2013. Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production: A review. *Sci. Res. Essays.* 8(18):689-697. doi: <https://doi.org/10.5897/SREX12.003>
- Olkhovych O, Svetlova N, Konotop Y, Karaushu O, Hrechishkina S. 2016. Removal of metal nanoparticles colloidal solutions by water plants. *Nanoscale Res. Lett.* 11(1):518. doi: <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1742-9>
- Padilla DK, Williams SL. 2004. Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Front Ecol. Environ.* 2(3):131-138. doi: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0131:BBWAAO\]2.o.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0131:BBWAAO]2.o.CO;2)
- Pérez C, Seewald P. 2019. *Limnobium laevigatum* (Humb. & bonpl.ex willd.) Heine (Alismatales, Hydrocharitaceae), una nueva especie invasora en la cuenca del Río Negro, provincia de río negro, Argentina. *His. Nat.* 9(2):211-218.
- Perryman MJ. 2013. Evaluating the Invasive Potential of South American Spongeplant, *Limnobium laevigatum* (Humboldt and Bonpland ex Willdenow) Heine, in California's Sacramento-San Joaquin Delta. Senior Research Seminar Spring 2013.

- Berkeley: Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California at Berkeley. p. 20.
- Ramírez DW, Cano A. 2011. Estado de la diversidad de la flora vascular de los pantanos de Villa (Lima, Perú). *Rev. Perú. Biol.* 17(1):11-114. doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.58>
- Reid Jr WS. 2004. Exploring duckweed (*Lemna gibba*) as a protein supplement for ruminants using the boer goat (*Capra hircus*) as a model. [Tesis]. [Carolina del Norte]: North Carolina State University.
- Ricciardi A, Macisaac HJ, editores. 2011. Impacts of biological invasions on freshwater ecosystems. In: Richardson D, editor. Fifty years of invasion ecology: The legacy of Charles Elton. 1st Ed. West Sussex, UK: Blackwell Publishing.
- Rodríguez-Villamil DR, Alvarez-Moya WA. 2020. Distribución y Nuevos Registro del Pato Cariblanco (*Anas bahamensis*) en Colombia. *Bol. SAO.* 29(1-2):6-13.
- San Martín C, Boetscher C. 2003. Importancia ecológica de la heterofilia en *Limnobia laevigatum*. *Bol. Soc. Argentina Botánica.* 131-132.
- Soñta M, Rekiel A, Batorska M. 2019. Use of duckweed (*Lemna L.*) in sustainable livestock production and aquaculture a review. *Ann. Anim. Sci.* 19(2):257-271. doi: <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0048>
- Soto-Pinto L, Jiménez-Ferrer G, Guillén AV, Bergsma B, Esquivel-Bazán E. 2001. Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. *Rev. For. Ib.* 1(1):44-50.
- Sudiarto SIA, Renggaman A, Choi HL. 2019. Floating aquatic plants for total nitrogen and phosphorus removal from treated swine wastewater and their biomass characteristics. *J. Env. Man.* 231(1):763-769. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.070>
- Sun H, Hou Y, Huang M. 2015. Ecological strategy of water landscape planning: Harbin as a case study. In the 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials. Atlantis Press. 725-730. doi: <https://doi.org/10.2991/icimm-15.2015.137>
- Ta J, Anderson LW, Christman MA, Khanna S, Kratville D, Madsen JD, Moran PT, Viers JH. 2017. Invasive aquatic vegetation management in the Sacramento–San Joaquin River Delta: status and recommendations. *SFEWS.* 15(4): 1-19. doi: <https://doi.org/10.15447/sfeWS.2017v15iss4art5>
- Tanaka N, Setoguchi H, Murata J. 1997. Phylogeny of the family Hydrocharitaceae inferred from rbcL and matK gene sequence data. *J. Plant Res.* 110(3):329-337. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02524931>
- Troncoso-Gómez A, Aponte H. 2020. Influencia de la salinidad y aireación en el crecimiento de la planta acuática *Limnobia laevigatum* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) Heine. *Ecol. Apl.* 19(1): 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i1.1440>
- Urrutia J, Sánchez P, Pauchard A, Hauenstein E. 2017. Plantas acuáticas invasoras presentes en Chile: Distribución, rasgos de vida y potencial invasor. *Gayana Bot.* 74(1):147-157. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432017005000324>
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2013. Weed risk assessment for *Limnobia laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine (Hydrocharitaceae) – South American sponge-plant. 4th Edition. Raleigh: Animal and Plant Health Inspection Service.
- [USDA-ARS] United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service. c2016. Germplasm Resources Information Network (GRIN). [Revisada en: 25 nov 2020]. <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomysimple.aspx>
- Valderrama L. 1996. Uso de dos especies de Macrófitas acuáticas, *Limnobia laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. *Univ. Sci.* 3(1-2):83-97.
- Vilà M, Espinar JL, Hejda M, Hulme P, Jarosik V, Maro J, Pergl J, Schaffner U, Sun Y, Pysek P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: A meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecol. Letters* 14(7):702-708. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x>
- Von Mering S, Kadereit JW. 2010. Phylogeny, systematics and circumscription of Juncaginaceae A cosmopolitan wetland family. In: Seberg O, Petersen G, Badfort AS, Davis JI, editors. Diversity, Phylogeny, and Evolution in the Monocotyledons. Aarhus: Aarhus University Press. p. 55-79.
- Wijninga V, Rangel O, Cleef A. 1989. Botanical ecology and conservation of the Laguna de la Herrera (Sabana de Bogotá, Colombia). *Caldasia* 16(76):23-40.
- Willis BE, Heilman MA, Bishop WM, Shuler SW. 2018. Evaluation of Multiple Herbicides for Control of Sponge Plant (*Limnobia laevigatum*). *J. Geosci. Env. Pr.* 6(6): 56-64. doi: <https://doi.org/10.4236/gep.2018.66004>
- Zuloaga FO, Morrone O, Belgrano MJ. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 82(4):589-590. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2009000400012>