

NOTA CIENTÍFICA

Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá

Floating islands as a strategy for the establishment of aquatic plants in the Botanical Garden of Bogotá

Liliana Martínez-Peña^{1, 2}, Carlos López-Candela¹

RESUMEN

Las islas flotantes son un tipo de humedal artificial en donde se instalan macrófitos emergentes sobre estructuras flotantes y son utilizadas en fitodepuración, paisajismo y proyectos de conservación. Con el objetivo de aumentar las especies de la colección viva, embellecer los cuerpos de agua y contribuir a los procesos de conservación, en el Jardín Botánico de Bogotá (Colombia) se evaluó el establecimiento de 12 especies de plantas acuáticas presentes en Cundinamarca sobre un nuevo diseño de estructura flotante. Se construyeron tres estructuras flotantes octagonales con materiales reciclables y de bajo costo, con un área de 1.51 m² en donde se plantaron 141 individuos de: *Cuphea racemosa* (L.f.) Spreng., *Eleocharis dombeyana* Kunth, *Equisetum bogotense* Kunth, *Hydrocotyle leucocephala* Cham. & Schldl., *Hydrocotyle mexicana* Cham. & Schldl., *Hydrocotyle* sp., *Juncus microcephalus* Kunth, *Ludwigia peruviana* (L.) H.Hara, *Osmunda regalis* L., *Plantago australis* Lam., *Polytrichadelphus longisetus* (Brid.) Mitt. y *Sagittaria latifolia* Willd. Para evaluar el establecimiento de las plantas se tomaron fotografías desde el plano cenital y se usó una clasificación supervisada de tipo *likelihood* para cuantificar la cobertura vegetal a las 6, 23 y 44 semanas. También se evaluó el porcentaje de supervivencia y la presencia de brotes. Luego de 44 semanas se encontró una respuesta diferencial en las especies, siendo *O. regalis* y *L. peruviana* las que presentaron los mejores resultados.

PALABRAS CLAVE: humedales; conservación; colección viva; paisajismo; plantas acuáticas.

ABSTRACT

Floating islands are a type of artificial wetland that consists of installing emergent macrophytes on floating structures, and they are normally used for phytodepuration, landscaping and in conservation projects. With the aim of increasing the species of the living collection, beautifying the water bodies and contributing to the conservation processes, the Botanical Garden of Bogotá (Colombia) conducted an experiment in which the establishment of 12 species of aquatic plants of Cundinamarca on a new floating structure design was evaluated. Three octagonal floating structures of a 1.51 m² area were built with low-cost, recyclable materials. 141 individuals of the following species were planted: *Cuphea racemosa* (L.f.) Spreng, *Eleocharis dombeyana* Kunth, *Equisetum bogotense* Kunth, *Hydrocotyle leucocephala* Cham. & Schldl., *Hydrocotyle mexicana* Cham. & Schldl., *Hydrocotyle* sp., *Juncus microcephalus* Kunth, *Ludwigia peruviana* (L.) H.Hara, *Osmunda regalis* L., *Plantago australis* Lam., *Polytrichadelphus longisetus* (Brid.) Mitt., and *Sagittaria latifolia* Willd. Zenithal shots were taken to evaluate the establishment of the plants, and a supervised likelihood classification was used to quantify the vegetation cover at 6, 23 and 44 weeks. The percentage of survival and the presence of outbreaks were also evaluated. After 44 weeks a differential response was found in the species, with *O. regalis* and *L. peruviana* presenting the best results.

KEYWORDS: wetlands; conservation; living collections; landscaping; aquatic plants.

1. Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia. ORCID Martínez-Peña, L.: 0000-0001-8498-1739; ORCID López-Candela, C.: 0000-0001-5635-4682

2. Autor de correspondencia: mlmartinez@jbb.gov.co

Recepción: 12 de diciembre de 2017. Aceptación: 01 de junio de 2018

Introducción

Las islas flotantes hacen parte de un tipo de humedales construidos, conocidos como *Floating Treatment Wetlands* (FTWs), y están conformados por una estructura flotante en donde las plantas acuáticas emergentes crecen enraizadas en la superficie. Los tallos de las plantas se desarrollan por encima del nivel del agua, mientras las raíces crecen en la columna de agua hacia el fondo del estanque favoreciendo los procesos de fitodepuración, al generar una superficie para el establecimiento de comunidades microbianas. La flotabilidad permite que la isla permanezca en la superficie, tolerando las fluctuaciones en la profundidad del agua (Headley y Tanner, 2008; Tanner y Headley, 2011).

Estas estructuras flotantes se emplean en el mejoramiento de la calidad del agua (Tanner y Headley, 2011; Martelo y Lara, 2012), en el embellecimiento de cuerpos de agua (Hwang y LePage, 2001; Headley y Tanner, 2008; Yeh et al., 2015), y en proyectos de conservación de fauna silvestre, generando hábitats para algunas especies de interés (DeSorbo et al., 2008). Para la construcción de la estructura flotante se han empleado módulos prefabricados de poliestireno, estructuras artesanales con fibra de coco, varas de bambú e incluso botellas plásticas (Headley y Tanner, 2006). Algunas experiencias con islas flotantes se han evaluado en países como Alemania, Australia, Bélgica, China, Colombia, India, Italia, Nueva Zelanda, Reino Unido, Singapur, Sri Lanka, Tailandia, Turquía y Uganda (Headley y Tanner, 2006; Tanner y Headley, 2011; Chaves y Mojica, 2015; Pavlineri et al., 2017).

En Cundinamarca se han realizado publicaciones que incluyen información sobre la flora acuática en los humedales de la Sabana de Bogotá y Valle de Ubaté (Schmidt-Mumm, 1998; Rodríguez, 2000; Chaparro 2003; Rangel-Ch., 2003; Van der Hammen et al., 2008; Hernández-R. y Rangel-Ch., 2009; Guzmán, 2012), en ecosistemas de páramo (Madriñán, 2010; Schmidt-Mumm y Vargas, 2012; Pedraza-Peñalosa et al., 2004), en la cuenca alta del río Subachoque (Fernández-Alonso y Hernández-Schmidt, 2007) y en el humedal Cacahual-Vega (Mora, 2013), entre otros.

El Jardín Botánico de Bogotá (JBB) busca fortalecer la conservación de plantas acuáticas andinas

incluyendo especies nativas dentro de la colección viva, así como potenciar su uso en el paisajismo y la depuración del agua. En este ensayo se evaluaron especies nativas colectadas en Cundinamarca, asociadas a cuerpos o cursos de agua en su mayoría de ecosistemas altoandinos. Teniendo en cuenta la tolerancia de las islas flotantes a la fluctuación en el nivel de agua, se realizó un trabajo exploratorio para evaluar el establecimiento de doce especies emergentes andinas en islas flotantes como estrategia para enriquecer la colección viva y embellecer el cuerpo de agua. El seguimiento al crecimiento de las plantas se hizo mediante el análisis digital de imágenes que se ha empleado para evaluar el progreso de vegetación acuática de hojas flotantes (Chau et al., 2013, Chau y Reyes, 2014) y terrestre como el maíz y el tomate (Quintero y Correa, 2011).

Materiales y métodos

Área de estudio

El lago de la colección viva del Páramo y Bosque Altoandino del JBB se encuentra en la zona noroccidental de Bogotá (Colombia), localizado en las coordenadas 74° 5' 59,303" W y 4°40' 0,965" N, a una altitud de 2.557 msnm. Tiene una superficie aproximada de 132 m², una profundidad promedio de 0,68 m y se encuentra entre el borde de un sendero y coberturas de arbustos de hasta 3 m de alto, que permiten el ingreso de luz solar durante el día.

El lago cuenta con una geomembrana de impermeabilización y hace parte de un circuito que lo conecta con el lago principal, que tiene un volumen de 1581,98 m³. El agua presente en este circuito es una mezcla de agua lluvia, potable y de escorrentía, con valores medios de pH entre 6,70 y 6,80; conductividad entre el 95,7 y 101,1; oxígeno disuelto entre el 5,6 y 5,7; y temperatura entre 17,3 y 18,1 (Camelomendoza et al., 2016).

Materiales y diseño de la isla flotante

En el diseño de la isla flotante se emplearon dos componentes: 1) la estructura flotante y 2) la vegetación. La estructura flotante está compuesta por un marco octogonal de tubos de PVC de 0,5 pulgadas, sobre el cual se instala una malla plástica con un ojo

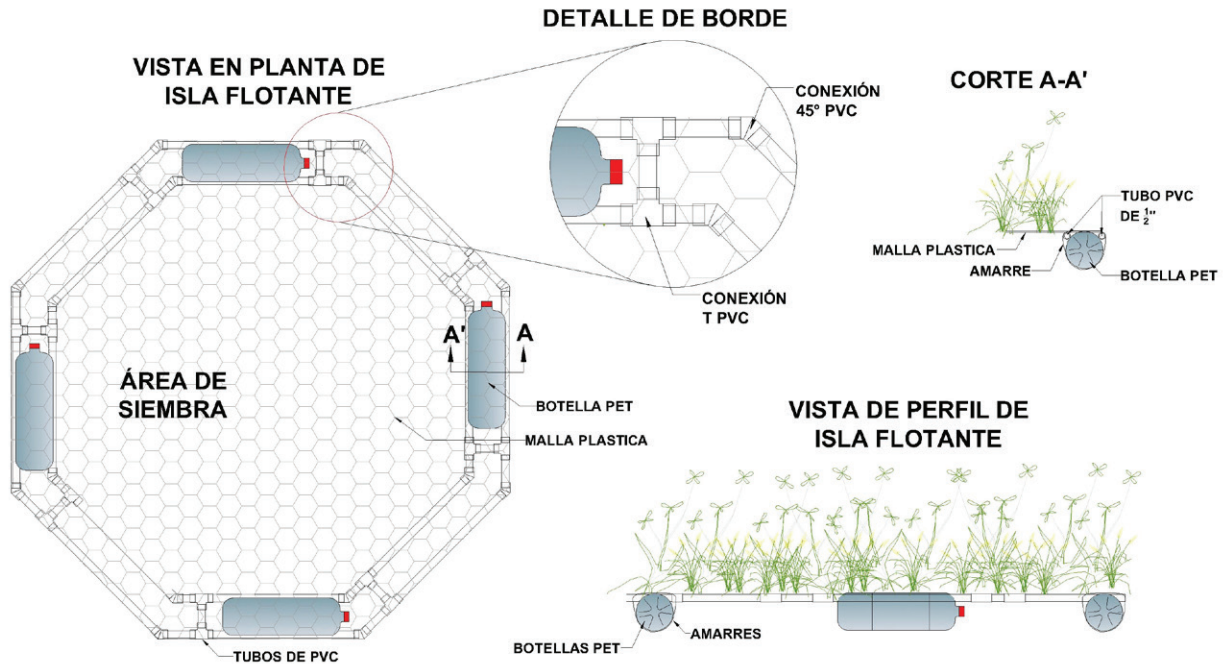


Figura 1. Esquema de isla flotante para vegetación en humedales. Fuente: elaboración propia.

de malla de 1 cm, una malla de fibra vegetal de coco o fique, y botellas plásticas reciclables de 2 L con tapa (Figura 1). La parte basal de las plantas reposa entre la malla plástica y la de fique o coco; la primera malla sirve de soporte para las plantas y la segunda mantiene la humedad de las raíces y le da un mejor aspecto a las estructuras flotantes. Las botellas plásticas garantizan que la estructura permanezca flotando y se ubican debajo de la estructura de PVC. La parte aérea de las plantas sobresale por encima de la fibra vegetal y las raíces se extienden por debajo de la estructura flotante hacia el fondo del cuerpo de agua. En total se construyeron tres estructuras flotantes de 1,51 m² y un perímetro de 4,8 m cada una; dos con tela de fique arrocerá y una con tela de fibra de coco.

La vegetación

Está conformada por 12 especies nativas de la región andina de Colombia y colectadas en cercanías de cuerpos de agua en el departamento de Cundinamarca: humedal Jaboque, laguna de Fúquene, humedal Cacahual, páramo de Guerrero y en el lago principal del JBB. A continuación se describen los rangos altitudinales reportados en Bernal et al.

(2015), información sobre la distribución y su importancia de conservación.

Cuphea racemosa (L.f.) Spreng.: hierba emergente presente entre 40 - 3000 msnm, se reporta en los humedales de la sabana de Bogotá y el Valle de Ubaté (Guzmán, 2012).

Eleocharis dombeyana Kunth: hierba rizomatosa emergente, presente en bordes de lagos y lugares húmedos entre los 2600 y 3810 msnm, se reporta en los humedales de la sabana de Bogotá y el Valle de Ubaté (Guzmán, 2012).

Equisetum bogotense Kunth: hierba emergente rizomatosa, se encuentra en lugares húmedos entre los 1500 y 3800 msnm, está reportada en los humedales de la sabana de Bogotá y el Valle de Ubaté (Guzmán, 2012) y es usada en el tratamiento de aguas residuales (Martelo y Borrero, 2012).

Hydrocotyle sp.: hierba con la capacidad de formar "tapetes herbáceos" en lugares húmedos.

Hydrocotyle leucocephala Cham. & Schltdl.: hierba presente en ambientes abiertos, generalmente en zonas perturbadas (Díaz, 2011) entre los 0 y 2700 msnm

Hydrocotyle mexicana Cham. & Schltdl.: hierba presente en bosques subandinos, páramos, en

ambientes abiertos y húmedos (Díaz, 2011), entre los 2200 y 3400 msnm.

Juncus microcephalus Kunth: hierba emergente, asociada a cuerpos de agua entre los 1500 y 3600 msnm (Balslev y Zuluaga, 2009), presente en poblaciones reducidas en los humedales de la sabana de Bogotá y el Valle de Ubaté (Rodríguez, 2000; Guzmán, 2012).

Ludwigia peruviana (L.) H.Hara: hierba emergente, presente en humedales, bordes de lagunas y quebradas entre los 40 y 2600 msnm, se reporta en los humedales de Bogotá y el Valle de Ubaté (Guzmán, 2012).

Osmunda regalis L.: helecho presente entre los 1600 y 2700 msnm, crece en humedales y cercanías a cuerpos de agua, se ha reportado como planta ornamental (Matchutadze, 2014).

Plantago australis Lam.: hierba presente entre 1200 y 4100 msnm y colectada en cuerpo de agua estacional en el páramo de Guerrero.

Polytrichadelphus longisetus (Brid.) Mitt.: briofito presente entre los 2000 y los 3900 msnm (Aponte-R. y Uribe-M., 2017), colectado en cuerpo de agua estacional en el páramo de Guerrero con la capacidad de conformar coberturas continuas a modo de “tapetes”.

Sagittaria latifolia Willd.: hierba emergente, presente entre los 200 y 1130 msnm, ha sido empleada en ensayos de islas flotantes (Hwang y LePage, 2001).

El material vegetal de estas especies fue colectado en campo y se mantuvo en el vivero de plantas acuáticas del JBB con el sustrato de origen y con tierra negra. Estas plantas se sembraron en contenedores o bandejas plásticas, con riego por subirrigación para mantener la humedad en el sustrato. Se emplearon plantas con una altura entre 5 y 50 cm. Para la plantación se removió el sustrato con agua y se sembraron a raíz desnuda. Las plantas sembradas difirieron en su forma de crecimiento: para *C. racemosa*, *J. microcephalus*, *L. peruviana*, *O. regalis*, *P. australis* y *S. latifolia* se emplearon plantas completas, mientras que para *E. dombeyana*, *E. bogotense*, *P. longisetus* se emplearon porciones de núcleos de 5 x 5 cm, y para *H. leucocephala*, *H. mexicana*, *Hydrocotyle* sp. se sembraron segmentos de rizomas de 10 cm.

En cada isla se incluyeron de 4 a 5 especies. La plantación se realizó en franjas concéntricas, iniciando con una especie de mayor tamaño en la parte central (*O. regalis*, *S. latifolia* y *J. microcephalus*) y alrededor se ubicaron las otras especies. Se sembraron entre 41 y 52 plantas por isla, a una distancia promedio de 15 y 25 cm (Tabla 1).

Tabla 1. Especies vegetales evaluadas en las islas flotantes

Isla	Fibra vegetal usada de sustrato	Familia	Especie	Cantidad
1	Coco	Osmundaceae	<i>Osmunda regalis</i>	5 individuos
1	Coco	Juncaceae	<i>Juncus microcephalus</i>	9 individuos
1	Coco	Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>	11 individuos
1	Coco	Polytrichaceae	<i>Polytrichadelphus longisetus</i>	15 núcleos
1	Coco	Araliaceae	<i>Hydrocotyle leucocephala</i>	8 rizomas
2	Fique	Juncaceae	<i>Juncus microcephalus</i>	9 individuos
2	Fique	Onagraceae	<i>Ludwigia peruviana</i>	11 individuos
2	Fique	Cyperaceae	<i>Eleocharis dombeyana</i>	24 núcleos
2	Fique	Araliaceae	<i>Hydrocotyle mexicana</i>	8 rizomas
3	Fique	Alismataceae	<i>Sagittaria latifolia</i>	13 individuos
3	Fique	Lythraceae	<i>Cuphea racemosa</i>	4 individuos
3	Fique	Equisetaceae	<i>Equisetum bogotense</i>	16 núcleos
3	Fique	Araliaceae	<i>Hydrocotyle</i> sp.	8 rizomas

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar el proceso del establecimiento de las plantas se observó la cobertura vegetal, el porcentaje de la supervivencia y el porcentaje de plantas con brotes nuevos a las 6, 23 y 44 semanas. El estudio inició en el mes de septiembre de 2016 y finalizó en julio de 2017. Durante este plazo de tiempo ocurrieron dos periodos lluviosos correspondientes a octubre-noviembre 2016 y abril-mayo 2017, y dos periodos secos de enero-febrero 2017 y julio 2017.

Para cuantificar el aumento o la disminución de la cobertura vegetal se usaron imágenes fotográficas tomadas desde el plano cenital de cada una de las islas y se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud en ArcGIS 10.3.1 (Wernik y Morris, 1988). Adicionalmente, en cada uno de los muestreos se tomaron registros de número de plantas vivas y número de plantas con nuevos brotes. Al final del experimento, en la semana 47, se midió la longitud promedio de las raíces para cada una de las islas.

Resultados

El diseño de la isla flotante usado en este ensayo permite el establecimiento de la vegetación (Figura 2). Las fibras vegetales favorecen la retención de humedad, siendo la fibra de coco la que presenta una mayor durabilidad, pues permanece más de 47 semanas, mientras que la de fique se descompone luego de 23 semanas.

El registro de la isla de *S. latifolia* + *C. racemosa* + *E. bogotense* + *Hydrocotyle* sp. se realizó hasta la semana 23, pues teniendo en cuenta su poca cobertura fue necesario enriquecer la superficie con nuevas especies. Las islas 1 y 2 se monitorearon hasta la semana 44.

Luego de 44 semanas el porcentaje de supervivencia resultó ser diferente de acuerdo con cada especie, pero la mayoría presentó un porcentaje mayor al 60%. La supervivencia de *O. regalis*, *J. microcephalus*, *P. australis* y *L. peruviana* fue del 100% mientras que la de *H. mexicana* fue de 12,5%. La mayoría de las especies desarrolló brotes en más de la mitad de los individuos sembrados. Todos los individuos de *O. regalis*, *J. microcephalus*, *P. australis*, *L. peruviana* y *P. longisetus* desarrollaron brotes, mientras que este

resultado para *H. mexicana* fue de solo del 12,5% (Tabla 2).

Las especies con mayor cobertura en las islas flotantes fueron *Osmunda regalis* y *L. peruviana*, que evidenciaron un periodo de aclimatación, pues en las primeras semanas se observó el marchitamiento de las partes fotosintéticas de *O. regalis* y la reducción en la cobertura de *L. peruviana*; sin embargo, posteriormente se generaron nuevas hojas y brotes que aumentaron su cobertura (Figura 3). *L. peruviana* fue la especie que presentó el mayor incremento en este aspecto, seguida de *O. regalis*, *P. australis* y *E. dombeyana*. *P. longisetus* mantuvo su cobertura en el tiempo, mientras que en las especies de *Hydrocotyle* se observó una reducción (Figura 4). En cuanto a los resultados de la cobertura de la isla 3, a continuación se indican dos valores (m²) obtenidos en la semana 6 y la semana 23 para cada especie: *S. latifolia* 0,058 y 0,017; *C. racemosa* 0,028 y 0,005; *E. bogotense* 0,018 y 0,020; e *Hydrocotyle* sp. 0,020 y 0,005. Esto evidencia la reducción de cobertura en la mayoría de las especies.

La longitud máxima de las raíces de la isla 1 es de 55 cm, mientras que la de la isla 2 es de 36 cm. Adicionalmente, en las fotografías se evidencia una mayor cantidad de raíces en la isla 1 asociadas a las especies *L. peruviana* y *J. microcephalus* (Figura 5). La isla 3 presentó herbívora en las raíces de *S. latifolia*.

Durante los muestreos se encontraron individuos en diferentes estadios de la rana sabanera (*Dendropsophus labialis*), siendo los renacuajos los más frecuentes en las raíces.

Discusión

En general la mayoría de las especies evaluadas se establecieron en las islas flotantes. Teniendo en cuenta que son plantas emergentes, entonces tienen adaptaciones para tolerar periodos de inundación (Cronk y Fennessy, 2001). Las especies de *Hydrocotyle*, si bien se colectaron en lugares húmedos, no toleran la inmersión de sus raíces en el agua.

Aunque se reporta el uso de *S. latifolia* en islas flotantes, en este estudio se evidenció un bajo establecimiento de esta especie, probablemente debido a la diferencia de condiciones ambientales entre el lugar de origen (correspondiente a zonas más cálidas) y las condiciones del JBB.



Figura 2. Prototipos de Islas flotantes instaladas para el establecimiento de plantas provenientes de humedales en la Colección Viva del Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá (Colombia). Fuente: fotografía de los autores.

Tabla 2. Supervivencia y nuevos brotes de especies plantadas sobre islas flotantes en humedal de la Sabana de Bogotá (Colombia)

Isla	Especie	Supervivencia (%)			Plantas con brotes (%)		
		S6	S23	S44	S6	S26	S44
1	<i>Osmunda regalis</i>	100	100	5	100	100	100
1	<i>Juncus microcephalus</i>	100	100	9	100	100	100
1	<i>Plantago australis</i>	100	100	11	100	100	100
1	<i>Polytrichadelphus longisetus</i>	100	80	12	93	100	100
1	<i>Hydrocotyle leucocephala</i>	100	100	0	100	100	0
2	<i>Juncus microcephalus</i>	100	100	9	100	100	100
2	<i>Ludwigia peruviana</i>	100	100	11	100	100	100
2	<i>Eleocharis dombeyana</i>	87	83	20	87	83	83
2	<i>Hydrocotyle mexicana</i>	87	75	1	87	75	12
3	<i>Sagittaria latifolia</i>	100	85	NE	100	85	NE
3	<i>Cuphea racemosa</i>	100	100	NE	100	100	NE
3	<i>Equisetum bogotense</i>	100	100	NE	100	69	NE
3	<i>Hydrocotyle sp.</i>	87	37	NE	87	37	NE

S6, semana 6; S23, semana 23; S44, semana 44.

Fuente: elaboración propia.

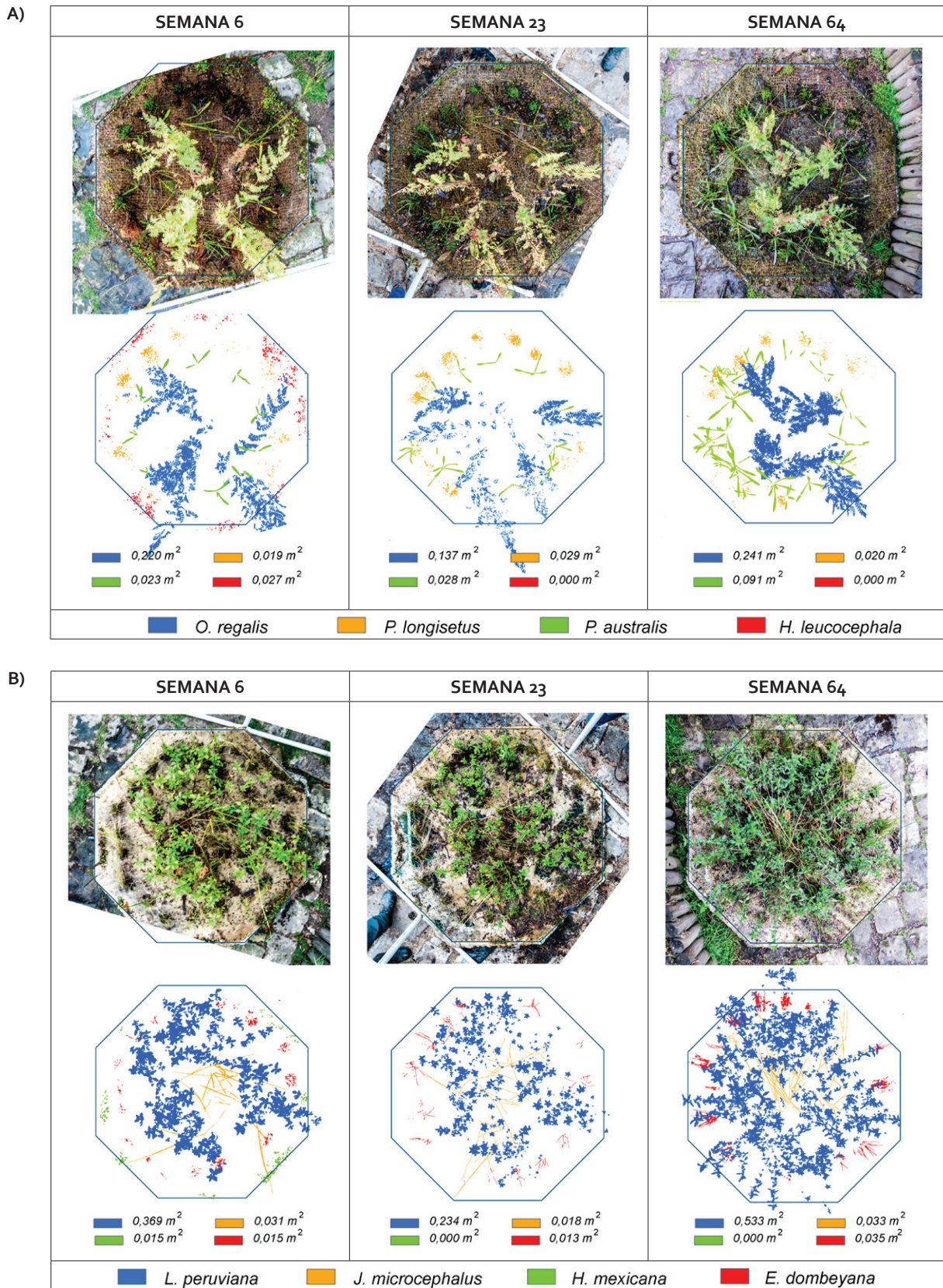


Figura 3. Cambio de cobertura para especies plantadas sobre islas flotantes en humedal de la Sabana de Bogotá (Colombia). A) Isla 1: *O. regalis*, *P. australis*, *E. dombeyana* y *P. longisetus*; B) isla 2: *J. microcephalus*, *L. peruviana*, *E. dombeyana* y *H. mexicana*. Fuente: elaboración propia.

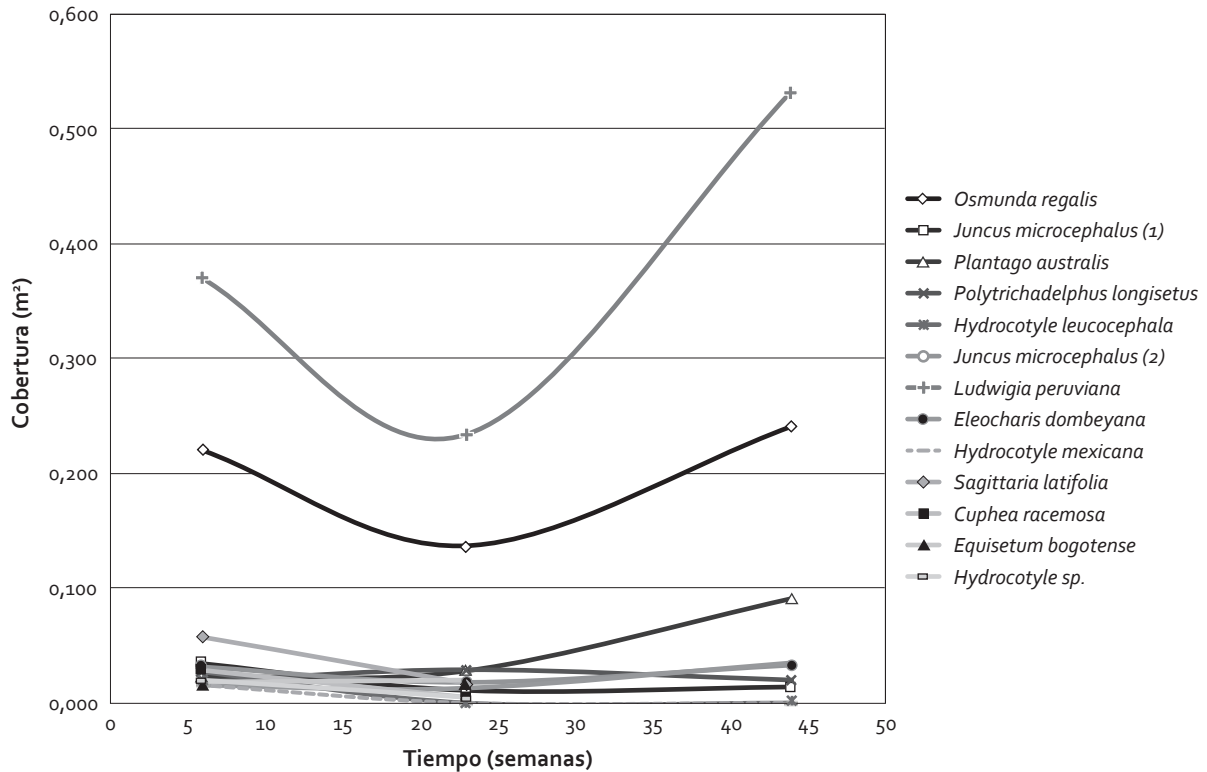


Figura 4. Acumulación de la cobertura vegetal de especies plantadas sobre islas flotantes en humedal de la Sabana de Bogotá (Colombia). Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Sistema radical de especies plantadas sobre islas flotantes en humedal de la Sabana de Bogotá (Colombia) luego de 43 semanas. A) isla 1, longitud promedio 36 cm; B) isla 2, longitud promedio 55 cm.

Esto refuerza la idea de usar plantas propias de la región que estén adaptadas a las condiciones ambientales y por lo tanto tengan mayor probabilidad de supervivencia (Chang et al., 2012).

La mayoría de plantas acuáticas desarrollan plasticidad fenotípica, es decir, tienen la capacidad de cambiar la forma de sus órganos en respuesta a alteraciones ambientales (Cronk y Fennessy, 2001).

Esta característica se evidenció en *L. peruviana*, cuyo número de hojas aumentó aun cuando el tamaño de las mismas se redujo. Esta estrategia puede estar asociada a un aumento en la capacidad de interceptar más luz solar.

Teniendo en cuenta la supervivencia y la generación de brotes se puede inferir que las especies que presentan un mejor establecimiento son: *O. regalis*,

J. microcephalus, *P. australis* y *L. peruviana*. *O. regalis* y *L. peruviana* también tuvieron el mayor aumento en cobertura, lo cual indica que son las especies que mostraron una mejor respuesta en este ensayo. Las islas 1 y 2 en donde se plantaron individuos de *O. regalis* y *L. peruviana* presentaron un desarrollo de raíces similar al estimado en otros estudios (Tanner y Headley, 2011), lo cual indicaría un uso potencial en ensayos de fitodepuración. Es probable que el tamaño del material vegetal tenga un efecto en el establecimiento de las plantas, pues el uso de segmentos de rizomas de 10 cm puede haber limitado el establecimiento de las especies de *Hydrocotyle* sp.

La medición de las coberturas vegetales usando una clasificación supervisada permite evidenciar el crecimiento de la mayoría de las especies evaluadas; sin embargo, tiene limitaciones cuando las especies presentan el mismo tono de color, ya que no es posible lograr una diferenciación clara. En estos casos fue necesario realizar un proceso de clasificación manual. Además, cuando la parte fotosintética de la planta es de forma cilíndrica (como los *Juncos* sp. y los *Equisetum* sp.), el método de evaluación de coberturas tiene limitaciones en la estimación del crecimiento. Por tanto, se recomienda tomar fotografías desde otros ángulos en donde se evidencie el crecimiento en el plano vertical y evaluar el crecimiento de islas con una sola especie.

Conclusiones

El diseño de isla flotante propuesto es funcional y la fibra de coco presentó el mejor desempeño. Las plantas nativas tienen potencial para ser empleadas en humedales artificiales, pero se debe continuar la indagación de la respuesta de otras especies nativas presentes en los humedales altoandinos. Las especies que evidenciaron un mejor establecimiento en este ensayo fueron *O. regalis* y *L. peruviana*.

Se proyecta realizar experimentos con un diseño experimental robusto que permita corroborar los resultados obtenidos, evaluando islas de una sola especie para evitar posible competencia y mejorar la estimación de coberturas con imágenes. Se recomienda seleccionar especies nativas de géneros reportados en otros estudios de islas flotantes y evaluar la capacidad de fitodepuración de agua

residual de las especies que presenten el mejor establecimiento.

Las islas flotantes han sido empleadas en las colecciones vivas de otros jardines botánicos como el *Royal Botanical Garden Victoria* en Melbourne (Australia), en donde se emplean en una estrategia integral del manejo de agua lluvia y embellecimiento de los cuerpos de agua. (Australia Government 2013, Royal Botanical Garden Melbourne 2015). Lo anterior resalta la importancia de este tipo de ensayos y proyecta el uso de islas flotantes para complementar estrategias de manejo de aguas lluvias en el JBB.

Agradecimientos. Al Jardín Botánico de Bogotá por el apoyo brindado en esta investigación. A los integrantes del equipo de Colecciones Vivas por su colaboración en la colecta de material vegetal, construcción y monitoreo de las islas flotantes. A Nicolás Urbina, por su apoyo en la identificación de los adultos de la rana sabanera (*Dendropsophus labialis*). A los evaluadores del manuscrito por sus aportes.

Financiación. Proyecto Colecciones Vivas – Línea de plantas acuáticas en los años 2016 y 2017 del Jardín Botánico José Celestino Mutis de Bogotá.

Contribuciones de autoría. Martínez-Peña, L.: propuesta preliminar, revisión bibliográfica, proyección en la construcción de las islas, especies a evaluar. Apoyo en el diseño, construcción y plantación de las islas. Además, medición de la supervivencia, presencia de brotes y apoyo fotográfico. Elaboración, consolidación y ajuste de la información presentada en el artículo. López-Candela, C.: apoyo en el diseño, construcción y puesta en marcha de la estructura flotante. Propuesta e implementación del análisis fotográfico mediante ArcGIS. Realización de aportes en el contenido en cuanto a metodologías, resultados y conclusiones.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

- Aponte-R., A., Uribe-M., J., 2017. Revisión de la familia Polytrichaceae (Bryophyta) para Colombia. Bol. Soc. Argent. Bot. 52, 209-250.
- Australia Government, 2013. Wetlands Australia. National Wetlands Update Issue No. 22. Department of sustainability, Environment, Water, Population

- and Communities, disponible en: <http://www.environment.gov.au/water/wetlands/publications/wetlands-australia/national-wetlands-update-february-2013-7>; consultado: noviembre de 2017.
- Balslev, H., Zuluaga, A., 2009. Juncaceae. En: Betancur, J., Galeano, G., Aguirre-C., J. (Eds.), Flora de Colombia. Monografía 26. Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Bernal, R., Gradstein, S., Celis, M. (Eds.), 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>; consultado: septiembre de 2017.
- Camelo-Mendoza, L., Martínez-Peña, M., Ovalle-Serrano, H., Jaimes V., 2016. Conservación *ex situ* de la vegetación acuática de humedales de la sabana de Bogotá. *Biota Colomb.* 17, 3-26. DOI: 10.21068/c2016s01a01
- Chang, N.-B., Islam, K., Marimon, Z., Wanielist, M., 2012. Assessing biological and chemical signatures related to nutrient removal by floating islands in stormwater mesocosms. *Chemosphere* 88, 736-743. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.04.030
- Chaparro, R., 2003. Reseña de la vegetación en los humedales de la Sabana de Bogotá. En: Guarnizo, A., Calvachi, B. (Coord.), Los humedales de Bogotá y la Sabana. Vol. I. Acueducto de Bogotá; Conservación Internacional Colombia, Bogotá. pp. 71-90.
- Chau, M., Reyes, W., Ranker, T., 2013. Ecological factors influencing growth of the endangered Hawaiian fern *Marsilea villosa* (Marsileaceae) and implications for conservation management. *Am. J. Bot.* 100, 1532-1543. Doi: 10.3732/ajb.1200625
- Chau, M., Reyes, W., 2014. Effects of light, flooding, and weeding on experimental restoration of an endangered Hawaiian fern. *Restor. Ecol.* 22, 107-116. Doi: 10.1111/rec.12017
- Chaves, C., Mojica, J., 2015. Estudio de humedales flotantes para la mejora de la calidad de agua de escorrentía. Caso edificio de parqueaderos de la Pontificia Universidad Javeriana. Tesis de pregrado. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Cronk, J., Fennessy, M., 2001. Wetland plants: biology and ecology. CRC Press, Boca Raton, FL. DOI: 10.1201/9781420032925
- DeSorbo, C., Fair, J., Taylor, K., Hanson, W., Evers, D., Vogel, H., Cooley Jr., J., 2008. Guidelines for constructing and deploying common loon nesting rafts. *Northeast. Nat.* 15, 75-86. DOI: 10.1656/1092-6194(2008)15[75:GFCADC]2.0.CO;2
- Díaz, M., 2011. Revisión taxonómica del género *Hydrocotyle* L. (Apiaceae) para Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fernández-Alonso, J., Hernández-Schmidt, M., 2007. Catálogo de la flora vascular de la cuenca alta del río Subachoque (Cundinamarca, Colombia). *Caldasia* 29, 73-104.
- Guzmán, A., 2012. Plantas de los humedales de Bogotá y el valle de Ubaté. Fundación Humedales; Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Fondo Hugo de Vries, Bogotá.
- Headley, T., Tanner, C., 2006. Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: a review. National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Hamilton, Nueva Zelanda.
- Headley, T., Tanner, C., 2008. Floating treatment wetlands: an innovative option for stormwater quality applications. En: 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Indore, India. pp. 1101-1106.
- Hernández-R., J., Rangel-Ch., J., 2009. La vegetación del humedal de Jaboque (Bogotá, D.C.). *Caldasia* 31, 355-379.
- Hwang, L., LePage, B., 2001. Floating islands: an alternative to urban wetlands. En: LePage, B. (Ed.), *Wetlands: integrating multidisciplinary concepts*. Springer, Dordrecht, Holanda. pp. 237-250. DOI: 10.1007/978-94-007-0551-7_14
- Madrinán, S., 2010. Flora ilustrada del páramo de Chingaza. Guía de campo de plantas comunes. 2a ed. Universidad de Los Andes, Bogotá.
- Matchutadze, I., 2014. *Osmunda regalis* L. En: The IUCN Red List of Threatened Species 2017-3: e.T164368A63306495. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2014-2.RLTS.T164368A63306495.en
- Martelo, J., Lara, J., 2012. Floating macrophytes on the wastewater treatment: a state of the art review. *Ing. Cienc.* 8, 221-243. DOI: 10.17230/ingciencia.8.15.11
- Mora, M., 2013. Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular del humedal Cacahual (Municipio de la Vega, Cundinamarca). Tesis de pregrado. Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Pavlineri, N., Skoulikidis, N., Tsihrantzis, V., 2017. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chem. Eng. J.* 308, 1120-1132. DOI: 10.1016/j.cej.2016.09.140
- Pedraza-Peñalosa, P., Betancur J., Franco-Rosselli P., 2004. Chisacá, un recorrido por los páramos andinos. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Quintero, N., Correa, C., 2011. Comparación de técnicas experimentales para la medición del crecimiento vegetal. *Revista Memorias* 9, 81-94.

- Rodríguez, J., 2000. Protocolo general para el desarrollo de actividades de revegetación en los humedales bogotanos. Informe técnico. Conservación Internacional Colombia, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Bogotá.
- Rangel-Ch., J., 2003. El antiguo lago de la Sabana de Bogotá: su vegetación y su flora en el tiempo. En: Guarnizo, A., Calvachi, B. (Coord.), Los humedales de Bogotá y la Sabana. Vol. I. Acueducto de Bogotá; Conservación Internacional Colombia, Bogotá. pp. 53-70.
- Royal Botanic Gardens Melbourne, 2013. Working Wetlands - bringing the lakes back to life. Wetlands Australia. National Wetlands Update Issue 22. Disponible en: <http://www.environment.gov.au/water/wetlands/publications/wetlands-australia/national-wetlands-update-february-2013-7>; consultado: noviembre de 2017.
- Royal Botanical Garden Melbourne, 2015. Plant Collections Melbourne, lake systems wetlands. Disponible en: <https://www.rbg.vic.gov.au/visit-melbourne/attractions/plant-collections/lake-system-wetlands>; consultado: noviembre de 2017.
- 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 grado. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Schmidt-Mumm, U., Vargas, O., 2012. Comunidades vegetales de las transiciones terrestre-acuáticas del páramo de Chingaza, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 60, 35-64. DOI: 10.15517/rbt.v60i1.2361
- Tanner, C., Headley, T., 2011. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecol. Eng.* 37, 74-86. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.12.012
- Wernik, M., Morris, G., 1988. Maximum-likelihood image classification. *Proc. SPIE 0938, Digital and optical shape representation and pattern recognition.* DOI: 10.1117/12.976607
- Yeh, N., Yeh, P., Chang, Y., 2015. Artificial floating islands for environmental improvement. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 47, 616-622, DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.090