

Producción de plantas macrófitas: Alternativa para la depuración en humedales artificiales

Alcibiades Bohórquez Bonilla*

Resumen

En el estudio realizado con humedales artificiales en la sede Usme de la Universidad Antonio Nariño, se adaptaron tres especies de plantas macrófitas (*Rumex conglomeratus*, *Bidens laevis* y *Typha latifolia*) y una especie ornamental (*Zantedeschia aethiopica*), enraizadas en sustratos inertes o medios de soporte plástico (MSP). Se verificó la adaptación del material vegetal a un sistema acuático, donde se hizo evidente el incremento de su producción radicular y foliar, así como el poder depurador sobre las aguas residuales domésticas. El protocolo utilizado para la propagación de las especies se basó en la reproducción *in vivo*, empleando partes vegetativas. La adecuación del material vegetal al sistema acuático incluyó el diseño y la construcción del humedal artificial, selección del material vegetal, plantación definitiva y labores de manejo. El trabajo experimental evidenció cambios fisiológicos que demostraron alta adaptación a un medio saturado. El desarrollo de *Rumex conglomeratus* presentó elevada producción de semillas en un periodo menor al conocido en su medio natural. La emisión de raíces (especialmente en *Bidens laevis* y *Zantedeschia aethiopica*) penetrando el sustrato inerte (MSP), aumentó la producción de yemas basales, y por lo mismo, su biomasa radicular y foliar. El manejo de poda dos veces por año, se hace con el ánimo de aprovechar el periodo de floración como elemento ornamental para así conservar la eficiencia depuradora del sistema.



www.flickr.com

* Técnico agrícola y forestal. Investigador Grupo GRESIA. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Antonio Nariño Bogotá D.C.- Colombia. alcibiades_bohorquez@yahoo.com.ar



De izquierda a derecha.

1. botoncillo o chipaca (*Bidens laevis*),
2. cartucho (*Zantedeschia aethiopica*),
3. cortadera (*Cyperus sp.*),
4. enea o totora (*Typha angustifolia*),
5. lenteja de agua (*Lemna minor*),
6. buchón de agua (*Eichornia crassipes*),
7. helecho flotante (*Azolla filiculoides*).

Palabras Clave

Vegetación de humedal, humedales artificiales, macrófitas, *Rumex conglomeratus*, *Bidens laevis*, *Typha latifolia*, *Zantedeschia aethiopica*.

Abstract

The study moved forward with constructed wetlands in the head office Usme of the University Antonio Nariño where three species of plants adapt themselves macrophytes (*Rumex conglomerates*, *Bidens laevis*, and *Typha latifolia*) and an ornamental species (*Zantedeschia aethiopica*) taken root in inert or average substrate of plastic support (MSP), thinks about how to verify the adaptation of this vegetable material to a completely aquatic system, increasing his radicular production and to foliate, so much as the aptitude to increase the specific area for the growth of biomovie. The protocol used for the spread of the species was based on the reproduction *in vivo* using vegetative parts. The adequacy of the vegetable material to the acuatic system needed design and construction of the constructed wetland, selection of the vegetable material, definitive plantation and works of handling. The experimental work demonstrated some physiological changes demonstrating adaptation superior to a highly saturated way. The emission of roots (especially in *Bidens laevis* and *Zantedeschia aethiopica* penetrating the inert substratum (MSP) it increased the production of egg yolks base them, therefore, his biomass radicular and to foliate. The handling of pruning two times per year, he makes use of the period of flowering as ornamental element and allows preserving the efficiency sewage treatment plant of the system.

Key Words

Wetlands vegetation, constructed wetlands, macrophytes, *Rumex conglomeratus*, *Bidens laevis*, *Typha latifolia*, *Zantedeschia aethiopica*.



www.flickr.com

Introducción

La propagación de la flora de humedales como elemento novedoso en la depuración de aguas residuales, requiere del conocimiento y manejo de las técnicas existentes de producción de plantas a cielo abierto. En este estudio, se empleó la propagación por partes vegetativas (yemas axilares, estacas, bulbos, entre otros) del grupo de vegetación denominado flora acuática.

Las hierbas de humedal comprenden el botoncillo o chipaca (*Bidens laevis*), cartucho (*Zantedeschia aethiopica*), gualola (*Polygonum segetum*), hierba de sapo (*Polygonum hidropiperoides*), cortadera (*Cyperus sp* y *C. rufus.*), chandur o curibano (*Cyperus acuminatus*), paraguas del Japón (*Cyperus alternifolius*), papiro (*Cyperus papyrus*), enea o totora (*Typha angustifolia* y *T. latifolia*) y junco (*Scirpus californicus* y *Juncus bogotensis*). Este grupo de plantas crece tanto en el borde como en el agua; a pesar de permanecer en el agua, no son plantas flotantes ya que poseen raíces fijas; esta característica les permite formar una barrera para controlar la invasión del pasto *kikuyo*.

La flora acuática, encargada de transformar la materia orgánica en biomasa, flota libremente gracias a su capacidad de adaptación que le permite sobrevivir, a pesar de los cambios de nivel de agua. Son representativos de esta flora, la lenteja de agua (*Lemna minor*), el buchón de agua (*Eichornia crassipes*), hierba de agua (*Myriophyllum elatinoid*), sombrillita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) y helecho flotante (*Azolla filiculoides*).

Propagación de especies macrófitas

Producción en vivero

Para el proceso de producción de plántulas en vivero, existen dos métodos tradicionales: propagación sexual (por semilla) y propagación asexual (por partes vegetativas).

Cualquiera que sea el tipo de propagación elegida, la secuencia de actividades para la producción en vivero comprende: preparación del sustrato de siembra, preparación de germinadores, siembra, germinación y trasplante. Posteriormente, se presenta la fase de crecimiento y desarrollo de las plántulas, fase en la cual es necesario desarrollar prácticas de manteni-

miento (riego, eliminación de arvenses, protección contra heladas, etc.), conocidas como labores culturales que son aquellas actividades rutinarias que permiten el funcionamiento del sistema, evitando sobrecrecimiento y colmataciones.

La técnica más utilizada para la propagación de plantas de humedal es la propagación vegetativa, sin excluir el manejo de semillas para producciones a gran escala, evitando causar alteraciones en los ecosistemas acuáticos. La propagación vegetativa es la obtención de material vegetal a partir de tallos, raíces, hojas o ramas.

Propagación vegetativa a partir de tallos, puede lograrse empleando partes de la planta como:

- **Estolones:** son secciones de tallos aéreos con entrenudos alternados que generan raíces adventicias.
- **Rizomas:** se generan a partir del crecimiento horizontal de un tallo subterráneo.
- **Tubérculos:** estructuras formadas en el extremo de tallos subterráneos de poco calibre. Los tubérculos y los rizomas son muy semejantes, una característica distintiva de un rizoma es que presenta un grosor uniforme en toda su longitud, sobre la cual crecen raíces adventicias, las cuales no existen en los nudos de los tubérculos.
- **Brotos:** son ramas o tallos que desarrollan raíces adventicias no independientes de la planta progenitora.

Propagación vegetativa a partir de yemas, mediante la cosecha de:

- **Bulbos:** se desarrollan sobre tallos cortos y engrosados a partir de yemas axilares de hojas carnosas. En algunos casos se desarrollan masas de bulbos (bulbillos) en el extremo del tallo.

Propagación vegetativa a partir de entrenudos radiculares

Los entrenudos son brotes que crecen de sus raíces horizontales. Tales brotes se forman sólo si la raíz es dañada, entonces los brotes se diferencian en un tejido calloso.

Propagación vegetativa a partir de estructuras florales

En algunas plantas, los meristemas apicales, que normalmente se desarrollan como flores, se convierten en yemas asociadas a raíces adventicias. Estas estructuras crecen de forma independiente al ser liberadas de la planta progenitora. A este proceso se le conoce como proliferación o falsa viviparidad.

Manejo del material de propagación

La técnica más común de enraizamiento es la inducción de la formación de raíces mediante cortes en una sección del tallo o de la rama, de manera que se origine una planta independiente. La selección de los cortes depende de las características de cada especie,

de las facilidades para obtener y manipular los cortes, del propósito de la propagación y de la disponibilidad de recursos. La técnica de propagación por medio de cortes de ramas se divide en: de segmentos foliados y de segmentos defoliados.

Enraizamiento de segmentos defoliados

Se deben cortar las ramas y plantarlas en el sustrato húmedo para provocar su enraizamiento. Este ocurre fácilmente sin necesidad de emplear sustancias químicas, ya que al encontrarse en un estado de latencia meristemática, al volver al estado de crecimiento los propios cambios hormonales que ocurren en el segmento desencadenan la producción de raíces en la superficie que está en contacto con el sustrato. Algunos criterios para la selección del material a enraizar son:

1. Seleccionar donantes vigorosos y sanos.
2. Elegir los segmentos basales o centrales de la rama. No se deben elegir ramas con entrenudos muy largos.
3. El tamaño de los segmentos varía entre 15 y 75 cm de largo, según la especie.
4. El corte basal se hace justo por debajo de un nudo y el corte superior se realiza de 1.3 a 2.5 cm. por encima del último nudo.
5. Empacar las estacas manteniendo su polaridad para permitir que el flujo de savia siga su dirección normal.
6. Proteger la base para evitar la pérdida de humedad.
7. Se puede mejorar el enraizamiento mediante el uso de hormonas.
8. El enraizamiento se favorece colocando los segmentos a temperatura baja (5-8°C) por algunas semanas.

Enraizamiento de segmentos foliados

Debido a la presencia de hojas que continúan transpirando activamente, y a las condiciones diferenciales de madurez en las ramas jóvenes, los segmentos pueden deshidratarse fácilmente. Por esto, es necesario mantenerlos en compartimientos sombreados y húmedos hasta que enraízen. Deben emplearse sustancias enraizadoras y mantenerse los segmentos recién plantados bajo agua nebulizada para evitar su deshidratación.

Obtención de estacas: para obtener y manipular adecuadamente las estacas, se tendrá en cuenta la alta humedad del aire, la intensidad moderada de luz, temperaturas estables, un medio favorable de enraizamiento y protección adecuada contra el viento y las enfermedades.

El área donde se colocan las estacas para el enraizamiento debe ser fresca y sombreada. La temperatura óptima se encuentra entre los 20 y 25°C., cuando las temperaturas superan 30°C la humedad relativa de la atmósfera deben mantenerse por encima de 90% para impedir que las plantas incrementen su transpiración.



Se analiza el crecimiento de las raíces, con especial atención a su crecimiento horizontal y profundidad efectiva.

Materiales y métodos

La implementación se hizo en las instalaciones de la Sede Usme de la Universidad Antonio Nariño, durante el primer semestre del año 2004 y el segundo semestre del 2005.

Diseño de construcción

El diseño incluyó el sistema de entrada (punto de toma, aforo de caudal a tratar, sistema de pretratamiento) y salida de aguas residuales, zonas de crecimiento y desarrollo plantular y los puntos de muestreo. La zona debió ser aislada mediante un cerramiento en alambre de púa para evitar el ingreso a la zona de riesgo sanitario.

Recolección de material vegetal

Se manejaron tres especies de plantas macrófitas (*Rumex conglomeratus*, *Bidens laevis* y *Typha latifolia*) y una especie ornamental (*Zantedeschia aethiopica*), se colectaron especímenes vegetales en algunos de los humedales de Bogotá y del altiplano cundiboyacense. Los humedales seleccionados para la recolección de las especies fueron el humedal Juan Amarillo, 1 Burro, Guaymaral, Gualí, Fúquene, Cucunubá y La Herrera. Para cada especie se elaboró una ficha técnica identificando fecha, hora y sitio de recolección; nombre común, nombre científico y condiciones ambientales.

Adaptación de material vegetal

Cada una de las especies seleccionadas fue adaptada en un canal diferente, manteniendo las condiciones de sustrato (MSP) y de agua residual, con el fin de evaluar su tolerancia y grado de adaptación. Se manejaron diferentes niveles de agua para determinar la relación entre la cantidad de sustrato y agua para el crecimiento de cada especie. El periodo de enraizamiento fue de 45 días en la etapa de vivero, llevándoles luego a un sitio definitivo donde se adaptaron en los siguientes 60 días.

Del material vegetal se evaluó:

- a) Crecimiento: raíces, con especial atención a su crecimiento horizontal y profundidad efectiva; cobertura vegetal en relación al número de hojas y tamaño de las mismas; altura.
- b) Estado fitosanitario: color y forma de hojas, presencia de hongos e insectos.

En el mantenimiento del material vegetal es indispensable controlar parámetros hidráulicos como:

- a) El caudal (flujo promedio de entrada y salida), que debe considerar pérdidas o ganancias por evapotranspiración, filtración y precipitación
- b) La velocidad del flujo, la cual depende de la profundidad de la lámina de agua, de la pendiente y de la densidad de vegetación.
- c) El coeficiente de resistencia hidráulica, el cual varía según la densidad del material vegetal, del volumen de residuos y de la vegetación emergente.

Resultados

Esta experiencia demostró mejoras en el manejo de plantas macrófitas propagadas en humedales artificiales, utilizando medios de soporte plástico (MSP) como anclaje y soporte al sistema radicular. Los resultados obtenidos en campo se relacionan en las siguientes tablas:

Tabla 1. Siembra en vivero

Especie	Fecha de siembra	Método de propagación	Origen	Tratamiento	Plantas enraizadas por M ²	Altura plantas (Cm)
Rumex conglomeratus	1-06-2006	Estacas	H. Neuta	Enraizador Aloe vera	200	25
Bidens aevis	01-06-2006	Estacas	H. Jaboque	Enraizador Aloe vera	400	15
Typha latifolia	01-20-2006	Esquejes	H. Neuta	Enraizador Aloe vera	80	25
Zantedeschia aethiopica	03-03-2006	Esquejes	H. Jaboque	Enraizador Aloe vera	100	20

Tabla 2. Siembra en sitio definitivo (en humedal artificial)

Especie	Fecha de siembra	No. Plantas por M ²	Altura	Tratamiento	% Mortalidad	Observaciones
Rumex conglomeratus	02-20-2006	25	30	Poda radicular	10	Tutorado por volcamiento
Bidens laevis	02-20-2006	64	30	Poda radicular	5	
Typha latifolia	03-06-2006	25	25	Sin tratamiento	3	
Zantedeschia aethiopica	04-17-2006	16	25	Poda aérea	5	

Tabla 3. Resultados

Especie	Fecha de control	Altura promedio Planta S (m)	Peso radicular X M2 (Kg)	Peso follaje X M ² (Kg)	Observaciones
Rumex conglomeratus	02-20-2006	1.8	20	12.5	Por desarrollo fue necesario tutorar el material
Bidens laevis	02-20-2006	1.2	16	44.8	La reiteración de brotes basálicos cubrió el área en 70 días
Typha latifolia	03-06-2006	2.5	30	18.25	El sistema radicular y la fijación al MSP permitieron controlar Aireación en la zona
Zantedeschia aethiopica	04-17-2006	0.95	24	12	inició floración el día 60 de la fecha de siembra

Análisis de resultados

Entre las especies seleccionadas, el desarrollo plantular mostrado por *Rumex conglomeratus* superó el promedio de crecimiento observado en medio natural, el cual no excede los 1.5 m. de altura. La elongación presentada por esta especie, hizo necesario el empleo de tutores para mejorar el desarrollo durante la etapa de fructificación, de igual forma, el desarrollo vegetativo se caracterizó por la elevada producción de semillas en un periodo menor al conocido en condiciones naturales (40 gramos de semilla por planta).

Bidens laevis evidenció un proceso activo de reiteración de rebrotes basales, presentando hasta 25 yemas apicales por decímetro cuadrado. Esta reiteración está dada en función de las labores de poda.

La adaptación de la especie *Zantedeschia aethiopica* al medio acuático fue eficiente. Se obtuvieron plantas vigorosas con presencia permanente de flores y buen anclaje al material plástico empleado como sustrato (MSP).

Las cuatro especies se adaptaron bajo condiciones ambientales estables. Los cambios bruscos de temperatura provocaron en las especies *Bidens laevis*, la pérdida de hasta el 75% de área foliar. Haciendo un control de poda y estimulando la germinación de nuevos rebrotes, se puede recuperar el área foliar perdida.

La emisión de raíces, penetrando el sustrato inerte (MSP), permitió aumentar la producción de yemas basales y mejorar la biomasa radicular.

Este efecto fue especialmente observado en las especies *Bidens laevis* y *Zantedeschia aethiopica*.

En términos generales, las especies empleadas dieron cobertura total al relleno plástico, cumpliendo las expectativas de adaptación del material vegetal, siendo aplicables en los tratamientos de depuración de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales.

Conclusiones y recomendaciones

Los humedales artificiales de alta tasa como sistemas controlados, permiten mediante el manejo de podas la renovación y aireación del material vegetal, lo cual se puede ver reflejado en el vigor de las plantas y la reiteración de yemas una vez realizadas las podas.

El desarrollo de plantas en un medio soluble, permite la absorción directa de nutrientes con menor esfuerzo para el desarrollo radicular y mayor crecimiento de la planta, aumentando la producción de biomasa.

Por tratarse de un sistema acuático controlado, las condiciones ambientales de verano e invierno poco influyen en el sistema, a excepción de la época de helada que puede quemar la planta por disminución de la temperatura. Para reducir este efecto, se pueden programar podas de renovación y aireación.

El trabajo experimental desarrollado evidencia cambios fisiológicos en altura, dado que muestra adaptación superior a un medio altamente saturado, sin presencia de ataques fúngicos en la porción radicular.

Las observaciones del desarrollo vegetativo con la especie *Rumex conglomeratus* demuestran una elevada producción de semillas en un periodo menor al conocido en medio natural.

La emisión de raíces penetrando el sustrato inerte (MSP) permitió aumentar la producción de yemas basales, lo mismo que de biomasa radicular y foliar. Este efecto fue especialmente observado en la especie *Bidens laevis* y *Zantedeschia aethiopica*.

Para hacer de los humedales artificiales un área con aporte paisajístico, es necesario conservar su flora mediante el manejo de poda dos veces por año, poco antes de iniciar el periodo de producción de semilla, de esta forma se aprovecha el periodo de floración como elemento ornamental. El trabajo de poda y raleo permite conservar la eficiencia depuradora de este sistema orgánico.



Foto 1, 2, 3.
Producción de biomasa radicular anclada al MSP en las especies *Bidens laevis* y *Zantedeschia aethiopica*.



Foto 4.
Formación radicular de la especie *Rumex conglomeratus* (fase vivero).

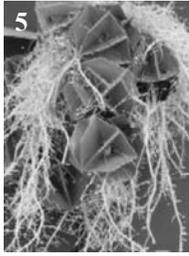


Foto 5.
Detalle
producción
radicular en la
especie
Zantedeschia
aethiopica.

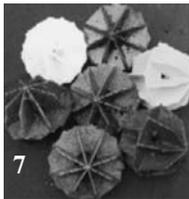
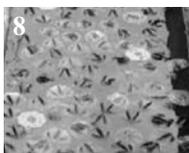


Foto 6, 7.
Medios de
soporte plástico
(MSP). En
el extremo
derecho,
formación de
biopelícula en
60 días



La propagación de este tipo de material en vivero se debe hacer con 60 días de antelación al establecimiento del humedal. De lo contrario, el desarrollo radicular de estas plantas podría producir elevados porcentajes de mortalidad obligando a una etapa de resiembra, alterando el desarrollo uniforme de este material vegetal e incrementando los costos de propagación. En la etapa de vivero, el material debe estar protegido de la radiación directa y las especies propagadas asexualmente deben ser tratadas con cicatrizantes y enraizadores hormonales, de preferencia materiales orgánicos, lo cual garantizará porcentajes elevados de germinación y producción de yemas.

Bibliografía

[1] BERLAND, Jean Marc y otros. “Guía Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medianas colectividades. Aplicación de la directiva del Consejo n° 91/271 del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas urbanas residuales”. Oficina de las Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas y Oficina Internacional del Agua: Luxemburgo, Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/water/water_urbanwaste/waterguide_es.pdf, (2001).

[2] CURT FERNÁNDEZ, María Dolores de la Mora. “Macrófitas de interés en fitodepuración”. María Dolores Curt Fernández de la Mora, Disponible en:

<http://www.macrophytes.info/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%207.pdf> (2004).

[3] DAHL, T.E. “Status and trends of wetlands in the conterminous United States, 1998 to 2004”. U.S. Fish & Wildlife Service: Washington D.C. Disponible en:

http://wetlandsfws.er.usgs.gov/status_trends/national_reports/trends_2005_report.pdf (2005).

[4] FERNÁNDEZ, José. “Jornada sobre agua y desarrollo sostenible: Agua para una agricultura sostenible. Técnicas que pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua”. Fundación Iberdrola: Madrid. Disponible en: [www.fundacioniberdrola.org/j_fernandez\(2\)_12_12_03_hm](http://www.fundacioniberdrola.org/j_fernandez(2)_12_12_03_hm) (2003)



Foto 8, 9.
Medios de soporte
plástico (MSP) con y sin
vegetación en canales.

- [5] FOUCARD, Jean-Claude. *Viveros: de la producción a la plantación*. Mundi Prensa: Madrid. (1997). 439 pp.
- [6] FUSTÉ, Xavier. “Humedales artificiales, una opción para tratar aguas residuales de poblaciones pequeñas”. Oficina de Transferencia de Tecnología (OTT) y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC): Barcelona. Disponible en: <http://www.csci.es/ott/rdcsic/rdcsicesp/rdqu19esp.htm> (2004).
- [7] GONZÁLEZ, Jesús Fernández. “Humedales artificiales para depuración”. Disponible en: <http://www.macrophytes.info/documentacion/Cap%Edtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf> (2004).
- [8] HESSAYON, D.G. *Invernadero: Manual de cultivo y conservación*. Editorial Blume: Barcelona. (2002). 128 pp.
- [9] MONTOYA, Wilson. “Importancia de la propagación asexual”. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Ecuador. Disponible en: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/agricultura/importancia_propagación.htm
- [10] NAVARRO, Rafael y PEMÁN, Jesús. *Apuntes de producción de planta forestal*. Universidad de Córdoba: Córdoba. (1992).
- [11] OSPINA M, Ivonn y RODRÍGUEZ CHAPARRO T. “Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del Río Bogotá”. Facultad de Ingeniería Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá. Disponible en: http://www.umng.edu.co/www/resources/r15_06.pdf (2005).
- [12] TESI, Romano. *Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo*. Mundi Prensa: Madrid. (2001). 288 pp.
- [13] TOOGOOD, Alan. *Enciclopedia de la propagación de plantas*. Editorial Blume: Barcelona. (2000). 320 pp.