



## ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

### GROWTH AND PROPAGATION OF *LIMNOBIUM LAEVIGATUM* (HYDROCHARITACEAE) UNDER DIFFERENT NUTRIENT CONCENTRATIONS

### CRECIMIENTO Y PROPAGACIÓN DE *LIMNOBIUM LAEVIGATUM* (HYDROCHARITACEAE) BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES

Héctor Aponte<sup>1,2</sup> & César O. Pachterres<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Avenida Arenales 1256, Jesús María - Lima.  
Apartado 14-0434, Lima 14, Perú. haponteu@yahoo.fr

<sup>2</sup>Área de Ecología, Coordinación Cursos Básicos. Universidad Científica del Sur. Av. Antigua Carretera Panamericana Sur km  
19 Villa El Salvador. - Lima 42, Perú.

<sup>3</sup>Laboratorio de Biología Marina, Facultad de Biología Marina y Ecnegocios. Universidad Científica del Sur. Av. Antigua  
Carretera Panamericana Sur km 19 Villa El Salvador. - Lima 42, Perú

The Biologist (Lima), 2013, 11(1), jan-jun: 69-78.

## ABSTRACT

---

*Limnobium laevigatum* is a floating macrophyte widely distributed in neotropical countries. Due to its potential role in bioremediation it is important to know the best conditions in which it can be propagated. One of the most important factors is the concentration of nutrients in the water. Therefore, the objective of the present work was to determine the nutrient concentration for optimal growth of *L. laevigatum* under laboratory conditions quantifying the parameters of biomass, occupied area, root size, and leaf production. Experiments were performed in which these morphological parameters were monitored over a period of 21 days along five nutrient concentrations of the water (0X, 12.5X, 25X, 50X and 100X; proportional to nutrient concentration). The highest leaf production, wet weight, number of ramets and leaf area were obtained at the intermediate nutrient concentration treatments (12.5X and 25X), while treatments 0X and 12.5X had higher root growth than the rest. Chlorosis and percentage of dead leaves followed opposite trends, with the first one being higher in the 0X treatment and progressively diminishing as the nutrients increased, with the latter being lower in that first treatment and increasing with the nutrient concentration. Relative growth rate (RGR) was the highest in plants under 12.5X conditions with a value of 0.1239. The role of nutrients in the different physiological responses of the studied plant is discussed and a comparison of the RGR with other floating plant species is presented.

---

**Keywords:** *Limnobium*, Nutrient effect, Propagation, Relative growth rate.

## RESUMEN

*Limnobium laevigatum* es una macrófita flotante ampliamente distribuida en los países del neotrópico. Debido a su potencial como biorremediador es importante conocer las mejores condiciones que permitan su propagación. Uno de los factores más importantes es la concentración de nutrientes en el medio. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo conocer la concentración de nutrientes a la cual se logra una propagación óptima de *L. laevigatum* bajo condiciones de laboratorio cuantificando parámetros de crecimiento como la biomasa, área ocupada, tamaño de las raíces y producción de hojas. Para ello se monitorearon en laboratorio durante 21 días estos parámetros morfológicos en plantas sometidas a cinco concentraciones de nutrientes (0x, 12,5X, 25X, 50X y 100X proporcional a la concentración de nutrientes). La mayor producción de hojas, peso fresco, número de rametos y área foliar se alcanzó con los tratamientos de concentraciones intermedias en nutrientes (12,5X y 25X). Los tratamientos 0X y 12,5X tuvieron un mayor crecimiento radicular que el resto de tratamientos. La clorosis fue mayor en el tratamiento 0X y fue disminuyendo progresivamente conforme aumentó la concentración de nutrientes en los tratamientos. Los tratamientos 50X y 100X presentaron una mayor cantidad de hojas muertas que los tratamientos 0X, 12,5X y 25X. La tasa de crecimiento relativo fue mayor en el tratamiento 12,5X donde se obtuvo un valor de 0,1239. Se discute el rol de los nutrientes en las diferentes respuestas fisiológicas de la especie en estudio; y se compara las tasas de crecimiento de esta especie con otras especies de plantas acuáticas flotantes.

**Palabras clave:** Efecto de nutrientes, *Limnobium*, propagación, tasa de crecimiento relativo.

## INTRODUCCIÓN

Las plantas acuáticas son utilizadas a nivel mundial con múltiples fines, entre ellos los ornamentales, de forraje, de biorremediación y de producción de fibras (Martelo & Borrero 2012, USDA-ARS-National Genetic Resources Program 2013). Para poder optimizar su propagación y el uso de estas especies es necesario conocer sus requerimientos de nutrientes y su potencial de crecimiento frente a las diferentes condiciones abióticas a las que se les somete (Bendoricchio *et al.* 2000, Mkandawire & Gert-Dudel 2007). La concentración de nutrientes en el agua juega un rol fundamental en la propagación de plantas acuáticas. Este factor ha sido estudiado ampliamente en especies acuáticas útiles para forraje y fitorremediación como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 1883 y *Lemna* spp; de quienes se conoce su productividad frente a las concentraciones de nutrientes, apreciando cómo concentraciones adecuadas potencian su crecimiento, y como el exceso de minerales y

sales resultan siendo tóxicos (Sunday 2001, Clostre & Suni 2006, Caldelas *et al.* 2009, Canales-Gutiérrez 2010). Otra macrófita en la cual se ha estudiado el efecto de la concentración de nutrientes en su crecimiento es *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller 1905, una especie útil por su fibra (León *et al.* 1998) que presenta una alta producción de tallos bajo concentraciones altas de nitratos y fosfatos; así como una alta tasa de floración frente a concentraciones muy bajas de estos dos elementos (Aponte 2009).

Una especie acuática de interés que cuenta con pocos estudios es *Limnobium laevigatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine 1968. Esta planta acuática flotante se encuentra distribuida en los países del Neotrópico. En el Perú se distribuye entre los 0 y 500 msnm, habiéndose registrado para ambientes lacustres y ribereños de los departamentos de Lima, Ucayali y Loreto (Brako & Zarucchi 1993, Ramirez & Cano 2011). Esta planta presenta dos tipos de reproducción: a) sexual, por medio de la producción de flores y semillas y b)

clonal, por la producción de nuevos clones (de aquí en adelante rametos) que forman parte de una misma planta madre (de aquí en adelante geneto) hasta la separación.

*Limnobium laevigatum* se caracteriza por tener un rápido crecimiento, invadiendo hábitats y transformándose en una plaga en países de Norte y Sud América (San Martín & Boetscher 2003, USDA-ARS-National Genetic Resources Program 2013). La productividad y la floración de esta especie varían dependiendo de las estaciones del año, siendo en verano la época en la que la población alcanza su mayor producción de biomasa así como la floración (Boettcher-Fuentes 2007). Otras investigaciones han demostrado el potencial de esta especie para la biorremediación, habiéndose comprobado su eficacia en el tratamiento de aguas servidas, disminuyendo hasta un 80% la DQO (Murillo-Castillo *et al.* 2012). A pesar de ello aun no se cuenta con trabajos que permitan conocer como las concentraciones de nutrientes afectan su crecimiento con la finalidad de optimizar su propagación a gran escala.

El objetivo del presente trabajo fue conocer las concentración de nutrientes a la cual se logra una propagación óptima de *L. laevigatum* en laboratorio, cuantificando parámetros de crecimiento como la biomasa, área ocupada, tamaño de las raíces y producción de hojas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Periodo de aclimatación

Los rametos fueron colectados en las cercanías del Humedal Pantanos de Villa (18L 284263.97 E-8649114.35 S, 5msnm) el 8 de enero del 2013. Éstos, fueron llevados al Laboratorio de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur, donde se limpiaron y sembraron en un medio de cultivo hidropónico estándar obtenido según estudios preliminares por un período de 30 días (Flores *et al.* 2012). La Tabla

1 muestra las condiciones de temperatura e iluminación durante la etapa de aclimatación.

### Diseño Experimental

#### Propagación a diferentes condiciones de nutrientes.

Se trabajó con 100 rametos producidos durante la etapa de aclimatación. Los rametos fueron separados en cinco tratamientos, caracterizados por contener macro y micronutrientes en proporciones similares, pero en diferentes concentraciones según el tratamiento (0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X, Tabla 2). Estas soluciones fueron preparadas teniendo como referencia las proporciones de relación mutua entre aniones y entre cationes (Lara-Herrera 1999).

La solución 0X contiene concentraciones de aniones y cationes similares a los del agua potable. Por cada tratamiento se hicieron 20 repeticiones. Cada repetición consistió en un rameto ubicado en un envase de vidrio de 600 mL, con 300 mL de la solución nutritiva propia de cada tratamiento. Al inicio cada repetición contenía un rameto que, en promedio ( $\pm$  DE), tenía  $2,33 \pm 0,47$  hojas, un largo máximo de raíz de  $0,73 \pm 0,34$  cm, peso promedio de  $0,15 \pm 0,06$  g y un área ocupaba de  $3,68 \pm 1,18$  cm<sup>2</sup>.

Cada envase de vidrio estuvo protegido por un plástico negro que cubría la exposición de la solución a la luz, evitando el crecimiento de algas. Cada siete días los envases de vidrio fueron limpiados (se retiró la materia muerta) y la solución de cada envase fue cambiada por una nueva a la misma concentración a fin de mantener las mismas condiciones de nutrientes a lo largo del experimento.

El experimento tuvo una duración de 21 días, ya que en este momento algunas plantas ocupaban la totalidad de los envases, evitando de esta forma que la falta de espacio (y la subsecuente superposición de las hojas) sea un parámetro a considerar en la evaluación. Durante los 21 días se registró el número de rametos en cada repetición; asimismo se contó

el número de hojas de todos los rametos por repetición; de estas se anotó el número de hojas cloróticas y el número de hojas que morían. Se anotó también el tamaño de la raíz más larga en cada repetición y el peso total de rametos por repetición. A fin de no estresar a las plantas durante el experimento, todas las mediciones fueron realizadas cada siete días. La Tabla 1 muestra las condiciones del Laboratorio durante la etapa experimental.

El estudio del crecimiento es una herramienta de amplio uso al caracterizar el desarrollo de plantas. De los parámetros necesarios para su cálculo uno de los más importantes es la tasa de crecimiento relativo (TCR) definido como  $r$  en la ecuación:

$$W_2 = W_1 \cdot e^{r(t_2 - t_1)} \dots (1)$$

Donde  $W_2$  y  $W_1$  son el peso en el tiempo 2 ( $t_2$ ) y peso en el tiempo 1 ( $t_1$ ), respectivamente. Por la forma de crecimiento obtenida en el experimento (exponencial), el modelo se adapta al crecimiento de la especie. Los valores de  $r$  para cada tratamiento fueron estimados utilizando la fórmula modificada descrita en (Hoffmann & Poorter 2002):

$$r = \frac{\overline{\ln WF_i} - \overline{\ln WI_i}}{t} \dots (2)$$

Donde  $WF$  y  $WI$  son el peso final e inicial de cada planta ( $i$ ) dentro de cada tratamiento, y el tiempo ( $t$ ) fue de 21 días (duración total del experimento).

#### **Análisis estadístico y procesamiento de datos**

Para comparar el efecto del tratamiento en las variables número de hojas, peso, largo de la raíz, número de rametos y el área foliar se utilizó un ANDEVA de medidas repetidas para comparar las medias de los tratamientos a lo largo del tiempo y de esta manera corregir la falta de independencia de los datos. Para el caso

de las variables: porcentaje de hojas cloróticas y porcentaje de hojas muertas, se tomó la proporción de estas con respecto al número total de hojas de cada semana; los datos fueron transformados con la función arcoseno para corregir su normalidad y finalmente comparados utilizando un ANDEVA de una vía. Los gráficos fueron realizados utilizando SigmaPlot V12,0.

## **RESULTADOS**

La evolución a lo largo del tiempo del peso, número de hojas, longitud de la raíz, área foliar, número de rametos y el porcentaje de hojas muertas de cada uno de los tratamientos se presentan en la Figura 1 y en la Tabla 3. La comparación de las medias acumuladas y la significancia de estas diferencias se presentan en las Tablas 4 y 5.

La mayor producción de hojas, peso fresco, número de rametos y área foliar se alcanzó con los tratamientos 12,5X y 25X, tratamientos que no presentaron diferencias significativas entre ellos, para la mayoría de parámetros evaluados (únicamente tuvieron diferencias significativas en el largo de la raíz, donde las plantas del tratamiento 12,5X lograron una longitud mayor). Los tratamientos 0X y 12,5X promovieron el crecimiento de la raíz en las plantas, el cual fue significativamente mayor que en los tratamientos de mayor concentración de nutrientes ( $p < 0.001$ , Tabla 3). La clorosis fue mayor en el tratamiento 0X y fue disminuyendo progresivamente conforme aumentó la concentración de nutrientes en los tratamientos. Los tratamientos 50X y 100X presentaron una mayor cantidad de hojas muertas que los tratamientos 0X, 12,5X y 25X ( $p < 0,05$ , Tablas 3 y 5). La TCR fue mayor en el tratamiento 12,5X donde se obtuvieron valores de 0,1239, mientras que en los tratamientos 0X, 25X, 50X y 100X se obtuvieron valores de 0,091, 0,1188, 0,1174 y 0,1210, respectivamente.

**Tabla 1.** Condiciones de Iluminación, Fotoperiodo, Temperatura y Humedad durante la etapa de aclimatación y durante el experimento. Se muestra el Promedio±DE (Mínimo-Máximo).

Condiciones	Aclimatación	Experimentación
Iluminación (W/m <sup>2</sup> )	62,00 ±72,99 (4,00-269,2)	41,74 ± 53,66 (4,60 - 264,4)
Fotoperiodo (horas/día)	12,71 ±0,06 (12,60-12,80)	12,48 ±0,07 (12,37-12,58)
Temperatura del agua (°C)	25,92 ±3,03 (21,70 - 33,20)	27,30 ±3,40 (24,20 - 27,40)
Temperatura Laboratorio (°C)	25,33 ±2,09 (21,40-30,90)	25,20 ±1,69 (21,80 - 32,80)
Humedad Relativa (%)	81,00 ± 6,71 (45 - 84)	72,39 ± 5,42 (60 - 84)

**Tabla 2.** Características de las soluciones nutritivas utilizadas en cada tratamiento (0x, 12,5X, 25X, 50X y 100X). Todos los valores de los elementos están en partes por millón (ppm) a excepción del pH y la conductividad (S/cm).

Elementos	0X	12,5X	25X	50X	100X
N	18,08	43,08	68,08	118,08	218,08
P	0,40	31,65	62,90	125,40	250,40
K	7,02	12,02	17,02	27,02	47,02
Mg	18,72	23,09	27,47	36,22	53,72
S	42,72	48,47	54,22	65,72	88,72
Ca	87,20	101,70	116,20	145,20	203,20
Fe	0,02	0,21	0,39	0,77	1,52
Mn	0,00	0,06	0,13	0,25	0,50
Zn	0,09	0,12	0,14	0,19	0,29
Cu	0,01	0,02	0,04	0,06	0,11
B	0,67	0,72	0,77	0,87	1,07
Mo	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
pH	7,7	7,9	7,8	7,6	7,2
CE	813,1	952,3	1117,6	1462,0	2077,9

**Tabla 3.** Porcentaje de hojas muertas de *L. laevigatum* para cada uno de los tratamientos (0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X) a los 14 y 21 días del experimento. Se muestra el Promedio±DE (Mínimo-Máximo).

DÍA	0X	12,5X	25X	50X	100X
14	0 ±0 (0-0)	0±0 (0-0)	0,22±0,97 (0- 4,34)	2,65 ±4,91 (0-14,29)	5,95 +/-7,21 (0-25)
21	0,59 ±1,87 (0-7,14)	4,02 ±7,65 (0-33,33)	6,39 ±5,17 (0-16,66)	10,98±6,46 (3,57-28,57)	10,93±,81 (4-22,22)

**Tabla 4.** Comparación por pares de las variables de crecimiento de *L. laevigatum* entre los tratamientos 0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X. Los valores corresponden a las diferencias de medias acumuladas. PE=peso, LR=longitud de la raíz, AF=Area foliar, NH=Número de hojas, NR= número de rametos. \* =p<0,05, \*\*=p<0,01, \*\*\*=p<0,001.

Tratamientos comparados		PE	LR	AF	NH	NR
0X	12,5X	<b>0,318***</b>	0,489	<b>6,296*</b>	<b>2,662*</b>	0,862
	25X	0,22	0,419	<b>7,203**</b>	<b>3,238**</b>	<b>1,275**</b>
	50X	0,052	<b>1,095***</b>	3,623	0,975	0,813
	100X	0,047	<b>1,497***</b>	3,732	0,513	0,75
12,5X	25X	0,098	<b>0,907**</b>	0,907	0,575	0,412
	50X	<b>0,266*</b>	<b>1,584***</b>	2,673	1,688	0,05
	100X	<b>0,271*</b>	<b>1,986***</b>	2,564	2,15	0,112
25X	50X	0,168	0,676	3,58	2,263	0,462
	100X	0,173	<b>1,079***</b>	3,472	<b>2,725*</b>	0,525
50X	100X	0,005	0,402	0,109	0,462	0,062

**Tabla 5.** Comparación por pares de las variables de senescencia de *L. laevigatum* entre los tratamientos 0X, 12,5X, 25X, 50X y 100X. Los valores corresponden a las diferencias de medias acumuladas. %CL= Porcentaje de hojas cloróticas, %HM=Porcentaje de Hojas muertas. \* =p<0,05, \*\*=p<0,01, \*\*\*=p<0,001.

Tratamientos comparados		% CL	% MH
0X	12,5X	<b>0,436***</b>	0,034
	25X	<b>0,388***</b>	<b>0,059**</b>
	50X	<b>0,47***</b>	<b>0,105***</b>
	100X	<b>0,4675***</b>	<b>0,104***</b>
12,5X	25X	0,048	0,025
	50X	0,034	<b>0,071*</b>
	100X	0,0315	<b>0,07*</b>
25X	50X	<b>0,082**</b>	0,046
	100X	<b>0,0795**</b>	0,045
50X	100X	0,0025	0,001

**Tabla 6.** Tabla comparativa de la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) por día entre *Limnium laevigatum* (datos del presente estudio) y otras angiospermas acuáticas. 1=Reddy & DeBusk (1984), 2=Henry-Silva *et al.* (2002), 3=Makandawire & Gert Dudel (2007), 4=Körner *et al.* (2013), 5=Finlayson (1984), 6=Pistori *et al.* (2004).

Angiospermas acuáticas	TCR
<i>Eichhornia crassipes</i> <sup>1,2</sup>	0,025-0,06
<i>Lemna</i> spp <sup>3,4</sup>	0,03-0,79
<i>Pistia stratiotes</i> <sup>1,2</sup>	0-0,18
<i>Salvinia molesta</i> <sup>2,5</sup>	0,01-0,5
<i>Egeria densa</i> <sup>6</sup>	0,009-0,063
<i>Limnium laevigatum</i>	0,09-0,124

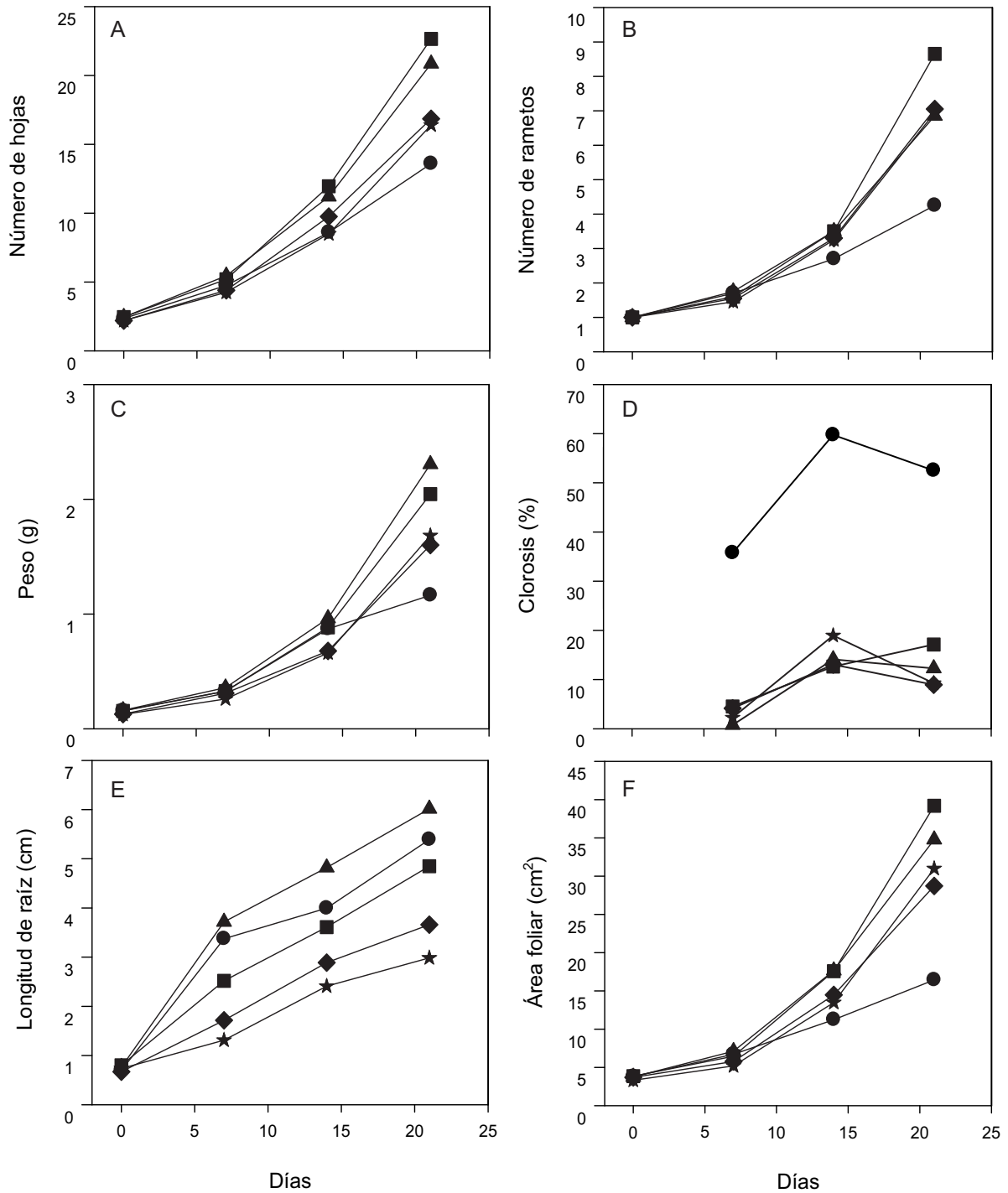


Figura 1. Evolución del Número de Hojas (A), Número de Rametos (B), Peso (C), Porcentaje de hojas cloróticas (D), Longitud de la Raíz (E) y Área Foliar (F) durante los 21 días del experimento. Tratamientos 0X=●, 12,5X=▲, 25X=■, 50X=◆ y 100X=★.

## DISCUSIÓN

El presente trabajo muestra el efecto de la cantidad de nutrientes en el crecimiento de esta especie, el cual llega a ser tóxico en concentraciones altas de nutrientes similares a los tratamientos 50X y 100X (donde hubo una mayor mortalidad foliar); así como resulta deficiente bajo concentraciones similares al tratamiento 0X (tratamiento que presentó mayor clorosis). Ninguna de estas tres condiciones son adecuadas para la propagación de *L. laevigatum*. Otras especies como la macrófita arraigada *S. americanus* parecen no verse afectadas por el exceso de nutrientes, pero si por concentraciones muy bajas de los mismos, que desencadenan en esta especie la clorosis junto a la floración (Aponte 2009).

Se apreció cómo frente a condiciones bajas de nutrientes, la especie promueve el crecimiento radicular. Este crecimiento permite compensar la deficiencia de nutrientes disponible en el medio y promueve la redistribución del nutriente en la planta, sobre todo frente a condiciones de carencia de nutrientes, fenómeno que ha sido también reportado en otras especies acuáticas como *E. crassipes* y *Ludwigia grandiflora* (Michx.) Greuter & Burdet 1987 (Xie & Yu 2003, Hussner 2010).

A pesar de que en otros estudios con la misma especie han llegado a la floración en los meses de verano (Boettcher-Fuentes 2007); en el presente estudio las plantas no llegaron a ese estadio fenológico. La luz juega un rol fundamental para la floración de las especies vegetales (Begon *et al.* 2009) y probablemente en el presente estudio no fue la suficiente. Por otro lado, la floración puede detener el crecimiento vegetativo (Aponte 2009) lo cual no es muy favorable para la propagación. En ese sentido, las condiciones luminosas a las que se han sometido las plantas durante el presente experimento, son adecuadas para su

propagación. Sin embargo, la floración es importante para mantener la diversidad genética en las poblaciones. Las plantas acuáticas con alta tasa de reproducción clonal lo hacen con poca frecuencia, viéndose susceptibles a cuellos de botella genético o a su desaparición por ataque de plagas y otros eventos estocásticos (Zhang *et al.* 2010). Estudios complementarios son necesarios a fin de conocer la variabilidad genética de la población en cultivo y si condiciones de luz mayores a las del presente estudio desencadenan la floración en esta especie, evitando consecuencias a nivel genético.

Una de las características importantes para considerar una especie como biorremediadora es tener una alta tasa de crecimiento poblacional y una alta capacidad para extraer, acumular, transformar, degradar o volatilizar contaminantes (Mkandawire & Gert-Dudel 2007). Estos caracteres los cumple esta especie, tal y como se demuestra en el presente estudio (a nivel de su TCR) y en trabajos previos realizados en fitorremediación con esta especie en el caso de aguas servidas (Murillo-Castillo *et al.* 2012).

Si comparamos la TCR obtenida en el presente trabajo con las TCR de otras especies vegetales acuáticas con comportamiento invasivo (Tabla 6), podemos verificar que el crecimiento de *L. laevigatum* es bastante similar al de estas especies, siendo mayor a lo reportado para *Egeria densa* Planch. 1849 y *E. crassipes*, pero menor a los máximos reportados para *Lemna* spp, *Pistia stratiotes* L. 1753 y *Salvinia modesta* D.S. Mitch. 1972 (Finlayson 1984, Reddy & DeBusk 1984, Henry-Silva *et al.* 2002, Körner *et al.* 2003, Pistori *et al.* 2004, Mkandawire & Gert-Dudel 2007). Las plantas acuáticas con alta tasa de crecimiento generalmente acumulan contaminantes con eficiencia (Celis Hidalgo *et al.* 2005, Benítez *et al.* 2008, Martelo & Borrero 2012), por lo que esta especie muestra tener el potencial para remover metales pesados.



El presente trabajo sienta las bases para la propagación de *L. laevigatum* en laboratorio permitiéndonos conocer las concentraciones de nutrientes adecuadas para realizar los experimentos subsecuentes que permitan conocer la versatilidad de esta especie para la captación de metales pesados y de carbono, así como de otros estudios que pueden ser de interés en biorremediación y producción de biomasa para forraje.

### AGRADECIMIENTOS

Quedamos profundamente agradecidos a Leya Poma, Vania Pachas, Mariela Leveau, Carlos Aguilar, Yanina Córdona, Jefree Arévalo, Edgar López y a Mery Suni por su valioso apoyo durante la etapa experimental. Agradecemos igualmente a Joyce Del Pino y a Aldo Indacochea por las facilidades logísticas para la realización del experimento.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aponte, H. 2009. El junco. Clasificación, Biología y gestión. Científica, 6: 38–45.
- Begon, M.; Townsend, C.R. & Harper, J.L. 2009. *Ecology: from individuals to ecosystems*. John Wiley & Sons. Malden. USA. 714 p.
- Bendoricchio, G.; Dal Cin, L. & Persson, J. 2000. Guidelines for free water surface wetland design. *EcoSys Bd*, 8: 51–91.
- Benítez, S.V.B.; Zapata, J.C.C. & Ramírez, N.J.L. 2008. Análisis comparativo de la remoción de un sustrato orgánico por las macrófitas *Pistia stratiotes* y *Egeria densa* en un sistema batch. *Gestión y Ambiente*, 39–48.
- Boettcher-Fuentes, C. 2007. Variación comparativa de biomasa estacional en dos macrófitos de la región de Valdivia, Chile. *Ciencia & Trabajo*, 9: 191–199.
- Brako, L. & Zarucchi, J.L. 1993. *Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú*. Missouri Botanical Garden. Saint Louis, Missouri 1286 p.
- Caldelas, C.; Iglesia-Turiño, S.; Araus, J.L.; Bort, J. & Febrero, A. 2009. Physiological responses of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms to the combined exposure to excess nutrients and Hg. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 21: 1–12.
- Canales-Gutiérrez, Á. 2010. Evaluación de la biomasa y manejo de *Lemna gibba* (lenteja de agua) en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno. *Ecología Aplicada* 91–99.
- Celis-Hidalgo, J.; Junod-Montano, J. & Sandoval-Estrada, M. 2005. Recientes aportes en la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, 14: 17–25.
- Clostre, G. & Suni, M. 2006. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). *Revista Peruana de Biología*, 13: 231–235.
- Finlayson, C.M. 1984. Growth rates of *Salvinia molesta* in Lake Moondarra, Mount Isa, Australia. *Aquatic Botany*, 18: 257–262.
- Flores, J.; Cabanillas, G. & Aponte, H. 2012. Estudio preliminar de la productividad foliar y de biomasa de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo condiciones de laboratorio. En: Libro de Resúmenes. Presented at the XXI Reunión Científica ICBAR, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.
- Henry-Silva, G.; Camargo, A.F.M & Pezzato, M. 2002. Effect of nutrient concentration on the growth of aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. pp. 147–150. En: Proceedings of the 11 Th EWRS International Symposium on Aquatic Weeds. Mollets et Maâ -

- Francia.
- Hoffmann, W.A. & Poorter, H. 2002. Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Annals of Botany*, 90: 37–42.
- Hussner, A. 2010. Growth response and root system development of the invasive *Ludwigia grandiflora* and *Ludwigia peploides* to nutrient availability and water level. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, 177: 189–196.
- Körner, S.; Vermaat, J.E. & Veenstra, S. 2003. The capacity of duckweed to treat wastewater: ecological considerations for a sound design. *Journal of Environmental Quality*, 32: 1583-1590.
- Lara-Herrera, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, 17: 221-229.
- León, B.; Cano, A. & Young, K. 1998. *Uso actual de la flora y vegetación en los Humedales de la costa central del Perú*. pp. 191–104. *En: Los Pantanos de Villa: Biología y Conservación, Serie de Divulgación N°11*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú.
- Martelo, J. & Borrero, J.A.L. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8: 221–143.
- Mkandawire, M. & Gert-Dudel, E. 2007. Are *Lemna* spp. effective phytoremediation agents? *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 1: 56–71.
- Murillo-Castillo, P.A.; Novoa-Acuna, L.G. & Rodríguez-Miranda, J.P. 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. *TechnoAmbiente*, 232: 9–15.
- Pistori, R.E.T.; Camargo, A.F.M. & Henry-Silva, G.G. 2004. Relative growth rate and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16: 77-84.
- Ramírez, D.W. & Cano, A. 2011. Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima - Perú). *Revista Peruana de Biología*, 17: 111-114.
- Reddy, K.R. & DeBusk, W.F. 1984. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort. *Economic Botany*, 38: 229-239.
- San Martín, C. & Boetscher, C. 2003. Importancia ecológica de la heterofilia en *Limnobium laevigatum*. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica (Supl.)*: 131–132.
- Sunday, A.D. 2001. The Utilization of Water Hyacinth *Eichhornia crassipes* by wets african dwarf (wad) growing goats. *African Journal of Biomedical Research* 4: 147-149.
- USDA-ARS-National Genetic Resources Program. 2013. *Germplasm Resources Information Network - (GRIN)* [On Line Data Base] leído el 15 de abril del 2013.
- Xie, Y. & Yu, D. 2003. The significance of lateral roots in phosphorus (P) acquisition of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Aquatic Botany*, 75: 311–321.
- Zhang, Y.Y.; Zhang, D.Y. & Barret, S.C. 2010. Genetic uniformity characterizes the invasive spread of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a clonal aquatic plant. *Molecular Ecology*, 19: 1774–1786.

Received April 21, 2013.

Accepted May 25, 2013.