

PRODUCTIVIDAD DE *Limnobium laevigatum* (HYDROCHARITACEAE) BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO

PRODUCTIVITY OF *Limnobium laevigatum* (HYDROCHARITACEAE) UNDER LABORATORY CONDITIONS

H.A. Aponte Ubillús

PRODUCTIVIDAD DE *Limnobium laevigatum* (HYDROCHARITACEAE) BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO

PRODUCTIVITY OF *Limnobium laevigatum* (HYDROCHARITACEAE) UNDER LABORATORY CONDITIONS

**PRODUCTIVIDAD DE *Limnobium laevigatum* (HYDROCHARITACEAE)
BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO**

**Productivity of *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae)
under laboratory conditions**

H.A. Aponte Ubillus

Escuela de Biología Marina,

Universidad Científica del Sur y Museo de Historia Natural,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

H.A. Aponte Ubillus

PRODUCTIVIDAD DE
Limnobium laevigatum
(HYDROCHARITACEAE)
BAJO CONDICIONES DE
LABORATORIO

PRODUCTIVITY OF
Limnobium laevigatum
(HYDROCHARITACEAE)
UNDER LABORATORY
CONDITIONS

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 44: 79-88. Julio 2017

DOI:

10.18387/polibotanica.44.12

RESUMEN: *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) es una planta acuática libremente flotante que se caracteriza por tener rápido crecimiento y potencial para uso forrajero. Conocer la productividad de la especie y plantear modelos de crecimiento que consideren los límites de recursos, permitiría estimar el potencial de la planta para su uso en sistemas forrajeros a gran escala. El objetivo del presente trabajo fue estimar la productividad de *L. laevigatum* (producción de biomasa, de carbono y de proteínas) en laboratorio, estableciendo un modelo matemático que describa este crecimiento. Para ello, se determinó la capacidad de carga (K) de la especie en condiciones controladas. Posteriormente se realizaron regresiones (Logística, Sinusoidal y Grompetz) seleccionando el mejor modelo para la planta en estudio. Los datos obtenidos del modelo seleccionado, conjuntamente con datos de proteínas y carbono en los tejidos, se utilizaron para calcular su producción. *Limnobium laevigatum* en laboratorio produjo 0.19 g/cm² de biomasa fresca, que equivalen a 2.83x10⁻³ g/cm² de proteínas y 3.96x10⁻³ g/cm² de carbono. Utilizando estos resultados puede tenerse un estimado del potencial de producción de la planta a gran escala. La cantidad de proteínas que se puede producir (1.28 T/ha/año de proteínas) está dentro de los rangos de producción de especies forrajeras terrestres y acuáticas. La capacidad captadora de carbono de la especie (1.79 T/ha/año de carbono) está también dentro de los rangos de ecosistemas destinados a la captación de carbono.

Palabras clave: captación de carbono, fisiología, hidrófitas, forraje, productividad.

ABSTRACT: *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) is a freely floating aquatic plant characterized by rapid growth and its potential use as forage. Understanding the specie's productivity and proposing growth models that take resource limits into account, would allow for the evaluation of the plant for its use in large-scale forage systems. The aim of this study was to estimate the productivity of *Limnobium laevigatum* (biomass, carbon and protein content) under laboratory conditions, and to establish a mathematical model describing this growth under limited conditions. We initially designed an experiment to determine the carrying capacity (K) of the species under laboratory conditions. Then, non-linear regression data analysis (Logistics, Sine selected model, as well as from proteins and carbon tissue content, were used to calculate the production. Its showed that *Limnobium laevigatum*, under laboratory conditions, can produce 0.19 g/cm² of fresh biomass, equivalent to 2.83x10⁻³ g/cm² of protein and 3.96x10⁻³ g/cm² of carbon. The extrapolation of these results, places the plant productivity (1.28 T/ha/year of proteins) within the production range of forage crops. These results reinforce previous observations, indicating that this species is useful for fodder purposes. In addition, the calculation of this species' carbon capture capacity (1.79 T/ha/year of carbon) evidenced its potential use for the latter purpose, since *Limnobium laevigatum* capture rate is comparable to the ones from ecosystems destined for carbon sequestration.

Key words: carbon sequestration, forage, hydrophytes, physiology, productivity.

INTRODUCCIÓN

Limnobium laevigatum (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine. es una planta acuática libremente flotante que pertenece a la familia Hydrocharitaceae. Se caracteriza por tener rápido crecimiento, invadiendo ecosistemas acuáticos y transformándose en una especie invasora en países de Norte y Sud América (San Martín y Boetscher, 2003; USDA, ARS, National Genetic Resources Program, 2014). En el Perú, esta especie se distribuye entre los 0 y 500 metros sobre el nivel del mar, habiéndose registrado para ambientes lacustres y ribereños en los departamentos de Lima, Ucayali y Loreto (Brako y Zarucchi, 1993; Ramírez y Cano, 2010).

A pesar de ser altamente invasiva, la función de *L. laevigatum* en los humedales es muy importante, ya que esta especie forma parte de la dieta de algunas aves sudamericanas como *Cygnus melancoryphus* Molina, 1782 y *Gallinula chloropus* Linnaeus, 1758 (Beltzer *et al.*, 1991; Corti y Schlatter, 2002), así como de algunos invertebrados como *Paulinia acuminata* (Carbonell *et al.*, 2006). Corti y Schatteler (2002) hacen un estudio químico proximal de *L. laevigatum*, mostrando que, en condiciones naturales, puede llegar a tener hasta un 16% de proteínas (% en base seca). Posteriormente Aponte *et al.* (2013) indican que, en condiciones de laboratorio, las plantas tienen un valor proteico más alto (entre 26 y 30%) y bajo contenido en fibras (7%) en la materia seca; e indican que esta especie es un recurso potencial para su uso como forraje.

Su tasa de crecimiento relativo en condiciones de laboratorio (TCR = 0.124) es más alta que su similar reportada para otras macrófitas acuáticas como *Egeria densa* Planch. y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Reddy y DeBusk, 1984; Henry-Silva *et al.*, 2002; Pistori *et al.*, 2004; Aponte y Pacherras, 2013). Plantear modelos de crecimiento adecuados para esta especie, permitiría estimar el potencial de la planta para su uso en sistemas forrajeros a gran escala.

El objetivo del presente estudio fue estimar la productividad de *Limnobium laevigatum* (producción de biomasa, de carbono y de proteínas) en laboratorio, estableciendo un modelo matemático que describa este crecimiento bajo condiciones controladas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Propagación de las plantas y estimación de la capacidad de carga (K)

A fin de tener un modelo de crecimiento poblacional con recursos limitados, se optó por realizar una estimación de K. Para ello se utilizaron 30 rametos de *L. laevigatum* pertenecientes a un cultivo constante de esta especie en las instalaciones de la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú). Cada rameto se colocó en un envase de vidrio de 600 ml (50 cm² de área superficial), con 300 ml de solución nutritiva, haciendo un experimento con 30 repeticiones simultáneas. La solución nutritiva que se utilizó fue aquella que permite obtener las tasas de crecimiento más altas y alta concentración de proteínas en los tejidos de la planta (25X en Aponte y Pacherras, 2013; 2X en Aponte *et al.*, 2013). 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 (Aponte y Pacherras, 2013).

Las condiciones de iluminación, fotoperiodo, temperatura y humedad durante el experimento se muestran en la tabla 1. Se registró la biomasa cada siete días utilizando una balanza eléctrica (0.01 g de precisión). Se midió la tasa de crecimiento relativo semanal (TCRs) siguiendo la siguiente fórmula:

$$TCRs = \frac{\ln WF_i - \ln WI_i}{t} \dots\dots (1)$$

Donde WF y WI son el peso de cada planta al inicio y al final de cada semana tiempo (t) fue de siete días. Se consideró que las plantas habían alcanzado K cuando la TCRs promedio se hizo cero. Posterior a ello se continuó con el experimento durante tres semanas más a fin de analizar el comportamiento de la población.

Tabla 1. Condiciones de iluminación, fotoperiodo, temperatura y humedad durante el primer experimento de capacidad de carga. Se muestra el promedio \pm DE (máximo-mínimo).

Condición	Promedio \pm DE (máximo-mínimo)
luz ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$)	142.6+/-141.61 (0.34-764)
T ambiental ($^{\circ}\text{C}$)	24.61+/-1.25 (22.4-27.3)
T H ₂ O ($^{\circ}\text{C}$)	26.38+/-2.49 (22.7-32.1)

Modelamiento del crecimiento poblacional

Terminado el experimento para hallar K se analizó la totalidad de los datos en función del tiempo y se realizaron regresiones con la finalidad de conocer el modelo que mejor se adapta a esos datos. Las regresiones probadas fueron las logísticas y de la familia del crecimiento logístico (Logístico, Sinusoidal y Grompetz). Por cada modelo se halló el Criterio de Información de Akaike (AIC), el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de correlación y el error estándar, de tal manera que se pudo elegir el mejor modelo (aquel que muestra mayor correlación, mayor coeficiente de determinación, menor AIC y que menor error). El uso de estos modelos y la evaluación de estos parámetros son recomendados para la selección de modelos en organismos vegetales, dado que su crecimiento en condiciones de recursos limitados tiene como particularidad la disminución de la TCR conforme va creciendo la población y/o tamaño de la planta (Paine *et al.*, 2012). Las regresiones no lineales y obtención de parámetros de selección de modelos fueron obtenidas utilizando los softwares PAST 2.17c (Hammer *et al.*, 2001) y Curve Expert profesional 2.2 (Hyams, 2010).

Una vez seleccionado el mejor modelo, se aplicó la regresión correspondiente a cada una de las 30 repeticiones del experimento. De esta manera se obtuvieron 30 valores de los parámetros del modelo, pudiendo así, tener datos estadísticos descriptivos de los mismos.

El momento exacto en que la TCRs se volvió cero, se calculó mediante una regresión logarítmica utilizando Microsoft Excel (©Microsoft bajo licencia).

Porcentaje de humedad, proteínas y carbono en el tejido vegetal

El porcentaje de carbono se halló mediante el análisis del tejido siguiendo la técnica descrita por Walkley y Black (1934) porcentaje de humedad (95.2%) y proteínas (30.76%) fueron obtenidos de estudios previos donde las plantas crecieron bajo condiciones similares (Aponte *et al.*, 2013).

Estimación de la productividad

Habiendo seleccionado el mejor modelo, se utilizó el valor de K del modelo (Kmod) para calcular el potencial de biomasa producible por área en condiciones de laboratorio. Este valor se multiplicó por los factores de conversión en biomasa seca, de proteínas y en carbono, obtenidos previamente (Aponte *et al.*, 2013 y explicados en la sección anterior). Las fórmulas para el

cálculo de la productividad en unidades de carbono (PC) y proteínas (PP) se indican en las fórmulas (2) y (3):

$$PC = Kmod \times \%BS \times \%C \quad \dots\dots(2)$$

$$PP = Kmod \times \%BS \times \%P \quad \dots\dots(3)$$

Donde *Kmod* es la capacidad de carga obtenida con el modelo, %BS es el porcentaje de materia seca, %C es el porcentaje de carbono en la materia seca y %P es el porcentaje de proteínas en la materia seca. Se hallaron los valores máximos y mínimos de la productividad utilizando los valores máximos y mínimos de *Kmod*.

RESULTADOS

Crecimiento en laboratorio y análisis de K

La figura 1 muestra el crecimiento promedio de las plantas en el tiempo. La figura 2 muestra la evolución de la TCRs a lo largo del experimento; asimismo muestra los resultados de la regresión. Según este último resultado, TCRs se hizo cero a los 85 días del experimento ($R^2=0.87$), cuando la biomasa era de 8.9 gramos. Este valor puede dividirse entre el área superficial de los beakers para tener el dato de la densidad promedio por cm^2 a la cual la curva deja de crecer (K) la cual es equivalente a 0.178 g/cm^2 .

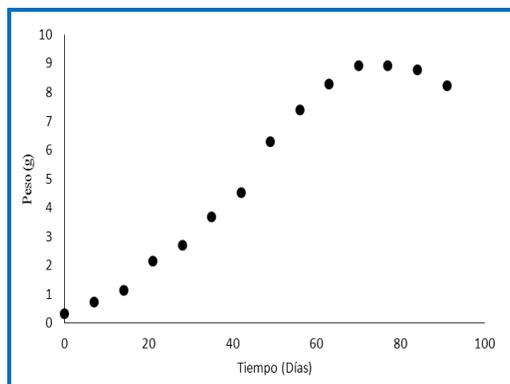


Fig. 1. Crecimiento de las plantas en el experimento para hallar K. Se muestra el peso promedio durante el experimento.

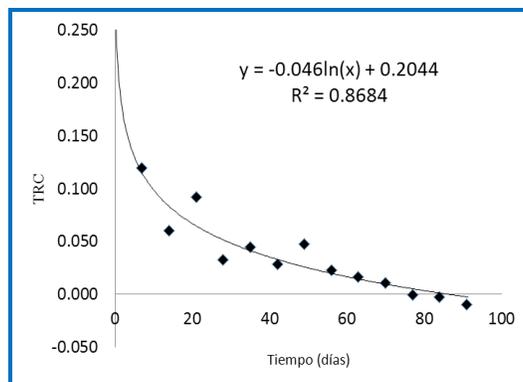


Fig. 2. Evolución de la TCR a lo largo del experimento. Se muestra la ecuación obtenida a partir de la regresión logarítmica.

Modelamiento del crecimiento poblacional

Se observó que el modelo que mejor representa el crecimiento de la especie es el modelo logístico ya que los valores de AIC fueron los más bajos (-25.79), el coeficiente de correlación fue cercano a 1 (0.99), tuvo el menor error estándar (0.37) y el coeficiente de determinación también fue cercano a 1 (0.99) (tabla 2).

Tabla 2. Criterio de Información de Akaike (AIC), coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (Coef. Correl) y error estándar (ES) para los cuatro modelos evaluados.

	AIC	R^2	Coef. correl	ES
Sinusoidal	40.83	0.01	0.11	3.76
Logístico	-25.79	0.99	0.99	0.37
Grompetz	-17.12	0.98	0.99	0.51

Los estadísticos descriptivos para los parámetros obtenidos de la regresión logística obtenida se indican en la tabla 3. Utilizando el promedio de los valores obtenidos, el modelo del crecimiento poblacional para la especie en estudio es:

$$Nt = \frac{9.57}{1 + 26.74e^{-0.08t}} \quad \dots(4)$$

Este modelo considera que la población en $t = 0$ tiene una densidad de $6 \times 10^{-3} \text{g/cm}^2$. El parámetro a (9.57) que dividido entre el área de beaker corresponde al K del modelo (K_{mod}) que en este caso es 0.1914g/cm^2 .

Tabla 3. Estadísticos descriptivos para los parámetros obtenidos de la regresión logística.

	a	b	c
N	30.00	30.00	30.00
Mín	7.56	3.56	0.05
Máx	11.88	82.83	0.10
Pro	9.57	26.74	0.08
ES	0.20	3.27	0.00
Var	1.18	320.67	0.00
DS	1.09	17.91	0.01
CV	11.34	66.96	15.32

N = número de datos; Mín = mínimo; Mx = máximo; Pro = promedio; ES = error estándar; Var = varianza; DS = desviación estándar; CV = coeficiente de variación. Los valores a, b, y c son parámetros del modelo logístico, donde a es la capacidad de carga (K) y b y c son constantes del denominador (para más detalle ver ecuación 4).

Conversión a unidades de productividad

Utilizando K_{mod} en las ecuaciones 2 y 3, se calculó la productividad de *Limnobium laevigatum*. Esta especie, puede producir $2.83 \times 10^{-3} \text{g/cm}^2$ de proteínas. En el caso de carbono, el resultado del análisis de contenido de carbono fue de 43%, por lo que su productividad en unidades de carbono equivale a $3.96 \times 10^{-3} \text{g/cm}^2$ de carbono.

DISCUSIÓN

A diferencia de las ecuaciones exponenciales, los modelos logísticos son más realistas y se adaptan mejor a la forma de crecimiento de las plantas en general, cada vez que se considere los recursos como un factor limitante (Birch, 1999; Paine *et al.*, 2012). Los parámetros de selección de modelo indican que la ecuación utilizada se adapta a los resultados originales dado que tiene un error bajo, coeficiente de determinación alto y un coeficiente de correlación alto. Estos resultados permiten tener confianza en el modelo y utilizarlo en la predicción de esta especie en condiciones de laboratorio. Los datos obtenidos en el presente estudio corresponden a los primeros que describen el crecimiento en laboratorio de esta especie considerando el límite de recursos y podrán ser utilizados como base para optimizar el uso de la especie en diversos propósitos, tales como la biorremediación (Murillo Castillo *et al.*, 2012) o forraje (Aponte *et al.*, 2013); aunque para ello es necesario realizar un mayor trabajo de campo y experimental, a fin de complementar el poco conocimiento que se tiene sobre esta especie para estas aplicaciones.

Uso del modelo para estimaciones a gran escala

El modelo propuesto describe un crecimiento bajo condiciones limitadas de nutrientes y espacio. Los datos obtenidos ofrecen un indicio de la producción de esta especie a gran escala bajo condiciones de laboratorio. Por ejemplo, según los resultados, la especie crece durante 80.5 días (momento en el que la TCRs se hace 0); esto significa que, optimizando el proceso productivo a gran escala, podría repetirse esta misma operación al menos cuatro veces al año (4.53 veces exactamente). Convirtiendo los resultados obtenidos en el presente estudio en unidades mayores (en toneladas por hectárea y por año), se obtendría la producción de 1.28 (1.01-1.59) T/ha/año de proteínas y 1.79 (1.41-2.23) T/ha/año de carbono.

La producción de proteínas de *Limnobiium laevigatum* obtenida con los cálculos del presente estudio es mayor que la producción de otras especies acuáticas como *Justicia americana* (L.) Vahl, *Sagittaria latifolia* Wild., *Nymphaea odorata* Aiton, *Jussiaea decurrens* (Walter) DC., *Polygonum* sp., *Nymphoides aquatica* (J.F. Gmel.) Kuntze y *Nelumbo lutea* Wild., la cual se encuentra entre 0.1 T/ha y 0.5 T/ha de proteínas (Boyd, 1968). Las plantas acuáticas, como *Limnobiium laevigatum*, pueden ser utilizadas como alimentos para animales de granja y peces dado a que son fuentes proteicas de alto valor nutricional (18 a 32% en base seca), aunque algunas tienen como deficiencia el bajo porcentaje de materia seca (5-6%, Hang *et al.*, 1997, Escamilla 1998), tal y como se aprecia en la especie estudiada. Por otro lado, *Limnobiium laevigatum* posee valores de proteína bruta óptimos (entre 26 y 30% en base seca, Aponte *et al.*, 2013), cosa que también ha sido encontrada en otras plantas acuáticas utilizadas en la alimentación de organismos acuáticos, como *Lemna gibba* L. (proteína bruta entre 20 y 30% BS, Dewanji, 1993; Gutiérrez *et al.*, 2001; Ponce & Fitz, 2004) y *Lemna perpusilla* Torr. (entre 24 y 26%, González 2010). El presente trabajo sienta las bases para plantear la propagación de esta especie a mayor escala, teniendo en consideración su potencial de producción proteica.

Dado que la forma de calcular la capacidad captadora de carbono incluye medir cuánto carbono se almacena en la biomasa vegetal (IPCC, 2006), los valores de productividad de carbono para *Limnobiium laevigatum* obtenidas en el presente estudio representan también la cantidad de carbono que puede almacenar la especie en un espacio determinado. Si se compara con otros valores de captación de carbono conocidos, los valores estimados para la especie en estudio se asemejan a los niveles de captación de carbono en sistemas silvícolas y agroforestales diseñados como sistemas de captura de carbono (0.93-7.23 T/ha/año de carbono; Soto-Pinto *et al.*, 2001), pero mayores a los de la productividad lograda por las plantas en humedales de zonas templadas frías (0.08-0.6 T/ha/año; Roulet, 2000). Por otro lado, su capacidad de captación de carbono es menor que la obtenida en bosques semiáridos de pinos (1.6 T/ha/año; Dore *et al.*, 2008) y en pastizales de zonas templadas (1.9-2.6 T/ha/año; Jaksic *et al.*, 2006). Se conoce la productividad de algunas especies acuáticas en condiciones silvestres como *Eichhornia*

azurea, *Nymphaea rudgeana* (Coutinho, 1989; Camargo y Florentino, 2000), *Pontederia cordata* (Penha, 1994) y *Nymphoides indica* (Menezes, 1984), los cuales se encuentran entre 3.5 T/ha y 17.5 T/ha de carbono; lo que nos muestra, que, en las condiciones realizadas en el presente estudio, la especie tiene una menor producción (aunque en los trabajos mencionados no se incluye el tiempo de producción de dicha biomasa). Estudios posteriores deberán dirigirse para conocer si el crecimiento de *Limnobium laevigatum* podría mejorar en condiciones naturales u optimizando las condiciones de laboratorio.

CONCLUSIONES

El modelo que mejor representa el crecimiento de *Limnobium laevigatum* bajo condiciones limitadas de nutrientes y espacio es el modelo logístico. Los datos obtenidos pueden dar un indicio de la producción de esta especie a gran escala. La productividad de *Limnobium laevigatum* bajo condiciones controladas asciende a 0.19 gr/cm² de biomasa fresca, que equivalen a 2.83 x 10⁻³ gr/cm² de proteínas y 3.96 x 10⁻³ gr/cm² de carbono.

Los resultados alcanzados describen el crecimiento en laboratorio de esta especie considerando el límite de recursos y podrán ser utilizados como base para optimizar el uso de *Limnobium laevigatum*, por ejemplo, en biorremediación o como forraje.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a los estudiantes, técnicos, coordinadores y al personal del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur por su valioso apoyo durante el desarrollo del presente experimento. Finalmente, agradezco a los revisores del presente manuscrito, por sus valiosos aportes y correcciones.

LITERATURA CITADA

- Aponte, H.; J.C. Francia, y C. Segura, 2013. "Análisis químico proximal de *Limnobium laevigatum* y su potencial para su uso como forraje". *Científica*, **10**(2): 158-167.
- Aponte, H., y C.O. Pacherres, 2013. "Crecimiento y propagación de *Limnobium laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes". *Biol. Lima*, **11**(1): 69-78. URL: sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v11_n1/pdf/a6v11n1.pdf
- Beltzer, A.; R. Sabatti, y M. Marta, 1991. "Ecología Alimentaria de la Polla de Agua Negra *Gallinula chloropus galeata* (Aves: Rallidae) en un ambiente lenticó del Río Paraná Medio, Argentina". *Ornitol. Neotropical*, **2**: 29-36. URL: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/on/v002n01/p0029-p0036.pdf>
- Birch, C.P.D., 1999. "A New Generalized Logistic Sigmoid Growth Equation Compared with the Richards Growth Equation". *Ann. Bot.*, **83**: 713-723. URL: <http://aob.oxfordjournals.org/content/83/6/713>
- Boyd, C.E., 1968. "Fresh-Water Plants: A Potential Source of Protein". *Economic Botany*, **22**(4): 359-368. URL: https://www.jstor.org/stable/4252996?seq=1#page_scan_tab_contents
- Brako, L., y J.L. Zarucchi, 1993. *Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú*. Missouri Botanical Garden, Saint Louis, Missouri.
- Camargo, A.F.M., y E.R. Florentino, 2000. "Population dynamics and net primary production of the aquatic macrophyte *Nymphaea rudgeana* C.F. Mey in a lotic environment of the Itanhaém River basin (SP, Brazil)". *Revista Brasileira de Biología*, **60**(1): 83-92. URL: <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000100011>

- Carbonell, C.S.; M.M. Cigliano, y C.E. Lange, 2006. *Especies de Acridomorfos [Orthoptera] de Argentina y Uruguay*. The Orthopterists' Society at the Museo de La Plata, La Plata (AR).
- Corti, P., y R.P. Schlatter, 2002. "Feeding Ecology of the Black-necked Swan *Cygnus melancoryphus* in Two Wetlands of Southern Chile". *Stud. Neotropical Fauna Environ.*, **37**(1): 9-14.
URL: www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1076/snfe.37.1.9.2118
- Coutinho, M.E., 1989. *Ecologia populacional de Eichhornia azurea (Kht) e sua participacao na dinamida da vegetacao aquática da Lagoa do Infernao, SP*. (Dissertacao (Maestrado)). Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil.
- Dewanji, A., 1993. "Amino acid composition of leaf proteins extracted from some aquatic weeds". *Journal of agricultural and food chemistry*, **41**(8): 1232-1236.
URL: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf00032a013>
- Dore, S.; T.E. Kolb, M. Montes-Helu, *et al.*, 2008. "Long-term impact of a stand-replacing fire on ecosystem CO₂ exchange of a ponderosa pine forest". *Glob. Change Biol.*, **14**: 1801-1820.
URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2008.01613.x/abstract>
- Escamilla, L., 1998. "Composición química y obtención de concentrados de proteína foliar de plantas acuáticas presentes en los canales de Xochimilco" (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- González, R., 2010. *Cultivo de Lemna perpusilla en el valle del Cauto y su empleo en la alimentación de alevines y juveniles de tilapia roja (Oreochromis mossambicus x O. niloticus)* (tesis para optar el grado de doctor en Ciencias Veterinarias). Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.
- Gutiérrez, K.; L. Sanginés, F. Pérez, y L. Martínez, 2001. "Estudios del potencial de la planta acuática *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **35**(4): 367-372. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018246009>
- Hang, D.; N. Thanh, L. van-Lai, y L.L. Rodríguez, 1997. "Nitrogen digestion and metabolism in Mong Cai pigs fed sugar cane juice and different foliages as sources of protein". *Livestock Research for Rural Development*, **9**(2): 17.
URL: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrrd/lrrd9/2/hang92.htm>
- Hammer, Ø.; D.A.T. Harper, y P.D. Rayan, 2001. "PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis". *Palaeontol. Electron.*, **4**(1): 9.
URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Henry-Silva, G.; A.F.M. Camargo, y M. Pezzato, 2002. "Effect of nutrient concentration on the growth of aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*". Proceedings of the 11 th EWRS *International Symposium on Aquatic Weeds*, 147-150. Moliets et Maî - Francia.
- Hyams, D.G., 2010. *CurveExpert software*. Disponible en: <http://www.curveexpert.net>.
- IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, *et al.* [editores], IGES, Japón.
- Jaksic, V.; G. Kiely, J. Albertson, *et al.*, 2006. "Net ecosystem exchange of grassland in contrasting wet and dry years". *Agric. For. Meteorol.*, **139**: 323-334.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192306002073>
- Menezes, C., 1984. *Biomassa e producao primária de tres espécies de macrófitas aquáticas da Represa do Lobo (Broa)* (dissertacao (maestrado)). Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil.
- Murillo-Castillo, P.A.; L.G. Novoa-Acuna, y J.P. Rodríguez-Miranda, 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**, Año XXII, 9-15.
URL: <http://www.joomag.com/magazine/tecnoambiente-232-septiembre-2012/0079568001352799625?page=11>

Recibido:
11/marzo/2016

Aceptado:
16/diciembre/2016

- Paine, C.E.T.; T.R. Marthews, D.R. Vogt, *et al.*, 2012. "How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists". *Methods Ecol. Evol.* **3**, 245-256.
URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2041-210X.2011.00155.x/abstract>
- Penha, J.M.F., 1994. *Ecologia populacional de Pontederia lanceolata (Natal) em uma área alágavel do pantanal Matogrossense, MT.* (dissertacao (maestrado)). Universidade Federal de Sao Carlos, Brasil.
- Pistori, R.E.T.; A.F.M. Camargo, y G.G. Henry-Silva, 2004. "Relative growth rate and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch". *Acta Limnol. Bras.*, **16**: 77-84.
URL: [http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Acta%20Limnologica/Volume%2016\(1\)/art7_16\(1\).pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Acta%20Limnologica/Volume%2016(1)/art7_16(1).pdf)
- Ponce, J.T., y M. Fitz, 2004. "Azolla mexicana y Lemna sp. como alimentos suplementarios en el policultivo de juveniles de tilapia (*Oreochromis hornorum*) y carpa barrogon (C. rubrofuscus) bajo condiciones semicontroladas ". Presentado en *I Congreso Nacional de Acuicultura SEPESCA*, Pachuca, Hidalgo, México, p. 6.
- Ramírez, D., y A. Cano, 2010. "Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú)". *Rev. Peru. Biol.*, **17**: 111-114.
URL: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/58>
- Reddy, K.R., y W.F. DeBusk, 1984. "Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort". *Econ. Bot.* **38**: 229-239. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02858838>
- Roulet, N.T., 2000. "Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto Protocol: Prospects and significance for Canada". *Wetlands*, **20**: 605-615.
URL: <http://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212%282000%29020%5B0605%3APCSGGA%5D2.0.CO%3B2>
- San Martín, C., y C. Boetscher, 2003. "Importancia ecológica de la heterofilia en *Limnobium laevigatum*". *Bol. Soc. Argentina Botánica*, Supl.: 131-132.
- Soto-Pinto, L.; G. Jiménez-Ferrer, y A.V. Guillen, *et al.*, 2001. "Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México". *International Workshop on Carbon Sequestration, Venezuela*, 16-17.
Disponible en: <http://www.era-mx.org/biblio/politica/DeJong1.pdf> [Accedido en Julio 22, 2013].
- USDA, ARS, National Genetic Resources Program, 2014. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [Base de datos online]. Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxecon.pl> [Accedido en Mayo 3, 2014].
- Walkley, A., y I.A. Black. (1934). "An examination of the Degtjareff method for determining soil and, and a modification of the chromic acid titration method". *Soil Sci.*, **37**: 29-38.