

Caracterización energética del lechuguín y pasto alemán con 100%, 50% y 25% de humedad utilizando la bomba calorimétrica adiabática

Energetic characterization of water lettuce and german paste 100%, 50% and 25% of humidity using the adiabatic calorimetric pump

NELSON GALLO CONRADO¹, EDUARDO GUTIÉRREZ GUALOTUÑA¹, GABRIELA TORRES RODRÍGUEZ¹ Y ÁNGELO VILLAVICENCIO POVEDA¹

RESUMEN

El objetivo de la investigación es el estudio de la *pistia stratiotes* (lechuguín de agua) con diferentes tipos de humedad como potencial fuente energética renovable de biomasa, en donde se determina su poder calorífico mediante el proceso de secado y fabricación de probetas estandarizadas que serán ensayadas en una bomba calorimétrica adiabática, equipo que pertenece al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Con este estudio se pretende aprovechar a esta planta acuática que está considerada dentro de las 100 malezas más invasoras a nivel mundial como un vector energético ya que la misma se ha constituido en un grave problema para los biomas hídricos invadidos y represas pertenecientes a centrales hidroeléctricas como Paute, así como también represas para riego agrícola.

Palabras clave: biomasa; energías renovables; poder calorífico; lechuguín de agua; secado.

ABSTRACT

The objective of this scientific article is to study the *pistia stratiotes* (water lettuce) with different types of humidity, as a potential renewable energy source of biomass,

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Sangolquí, Ecuador.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista *Aporte Santiaguino* de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

where its calorific value is determined, by the drying process and the manufacture of standardized pipe tubes, which will be tested in an adiabatic calorimetric pump, equipment belonging to the Energy Conversion Laboratory of the University of Armed Forces - ESPE. This study aims to take advantage of this aquatic plant that is considered among the 100 most invasive weeds worldwide as an energy vector, since it has been a serious problem for the invaded water biomes and dams belonging to hydroelectric power plants as Paute as well as dams for agricultural irrigation.

Keywords: biomass; gasification; syngas; calorific value; water lettuce; drying.

INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, el clima tiene una acción decisiva sobre el mundo: minero, vegetal y animal; meteorización de las rocas, génesis y erosión de los suelos, distribución geográfica de la flora, fauna y asentamientos humanos, crecimiento de plantas y cultivos, acción sobre la fisiología y salud del hombre, fuente de los mayores beneficios o de las peores catástrofes naturales, por citar algunos aspectos de su intervención. Ecuador, por ser un país agrícola y poseer una gama de climas ampliamente diversificados con grandes variaciones de un año a otro, no tarda en evidenciar el interés y preocupación por las condiciones climáticas y su influencia en el comportamiento de varias especies animales y vegetales (Pourrut, 1983).

En estudios realizados, se determinó que algunos de los factores que influyen mayoritariamente en las condiciones climáticas de Ecuador son: la altitud, el relieve, presencia del Océano Pacífico, corrientes marinas y fenómenos climáticos (Pourrut, 1983).

La mayor parte de los ríos ecuatorianos son de origen montañoso, nacen en la región andina y rompen en ocasiones las cordilleras y los nudos al oeste y al este, para desembocar en el Pacífico o en el río Amazonas o sus afluentes mayores. Hay pocos ríos, generalmente de escaso caudal, que se forman en las planicies del oriente o en la zona de la costa externa de la región litoral (Pourrut, 1995).

Plantas acuáticas

Las plantas acuáticas constituyen la flora hidrófila que crece en humedales, especialmente dulceacuícolas, conformando el eslabón inicial de varias cadenas tróficas y sirviendo de refugio, alimentación y anidamiento de numerosos animales, especialmente aves. Este tipo de plantas no cabe en la clasificación de las algas, la razón es que presentan raíz, tallo y hojas, como cuerpo vegetativo y flor, frutos y semillas como cuerpo reproductivo. Se trata de plantas superiores con flores, que se adaptaron a los humedales. El desarrollo de algunos tipos de plantas acuáticas dificulta la utilización de los cuerpos de agua (Ramírez & San Martín, 2005).

Albuquerque (1998) define aplicaciones para este tipo de plantas y observan que su empleo depende de las necesidades y usos de los pobladores de la zona estando entre las principales el espacio para la pesca, ornamentales, para producción de abono verde entre otras; el autor identifica que entre sus aplicaciones no existe una caracterización energética del recurso biomásico.

Pistia Stratiotes (Lechuguín de Agua) y Echinochloa polystachya (Kunth) Hitchc, Pasto Aleman

Las Plantas de *pistia stratiotes* se encuentran en agrupaciones que flotan en cuerpos de agua y sus raíces descienden bajo la superficie. Las hojas son onduladas, ligeras y de color verde recubiertas con pelos radiculares. Están distribuidas en forma de roseta, cubriendo una circunferencia que varía entre 5 y 20 centímetros de diámetro (Helbing & Burkart, 1985).

Posterior a la fertilización, se forma una baya de color verde que tiene una producción de 4 a 6 semillas por fruto. Las semillas descienden al fondo del cuerpo de agua donde se depositan conjuntamente con las semillas del resto de la agrupación de plantas, llegando hasta poblaciones de 4000 semillas por metro cuadrado. Las semillas germinan en aguas poco profundas, donde haya una abundante cantidad de luz y a temperaturas mayores a 20°C (Neuenschwander, 2009).

La *Pistia stratiotes* al igual que otras plantas acuáticas, tiene una destacable capacidad de acumular biomasa rápidamente (Reddy & DeBusk, 1984), por lo cual existen estudios como los de Abbasi (1991) y Pantawong (2015) para la producción de biogás.

También se ha descubierto que esta planta es capaz de absorber metales pesados (Objegba, 2006) lo cual ha limitado su uso como alimento para ganado, pero existen investigaciones sobre el tratamiento agua residual doméstica (Fonkou, 2002) y agua procedente de la actividad industrial (Miretzky, 2006).

Sin embargo, el lechuguín, considerado como una de las 100 malezas más invasoras a nivel mundial, ocasiona problemas de índole económico, ecológico y social (Villamagna, 2010). La alta densidad de la planta a través de los años provoca la pérdida de volumen de almacenamiento de agua, dificulta la pesca, impide el tráfico de embarcaciones, es una amenaza latente para las represas de generación hidroeléctrica (García et al., 2016).

En ecosistemas establecidos, es una planta invasora que puede llegar a cubrir grandes áreas de un cuerpo de agua, sus raíces proliferan la sedimentación lo cual inhabilita la zona para el desarrollo normal de la biodiversidad de la localidad (Attionu, 1976), tal como los sitios de anidación de peces y la proliferación de mosquitos.

Su extensión bloquea la luz solar afectando a las plantas acuáticas nativas, desplazando o matando a organismos vivos como los peces (Neuenschwander, 2009).

Según Fonkou (2002), en un estanque de tratamiento de agua, en el cual la materia orgánica esta mineralizada, la pistia stratiotes tiene una propagación acorde a la tabla 1:

Tabla 1. Propagación vegetativa de la Pistia Stratiotes

Días-Cultivo	0 ^a	5 ^a	10 ^a	15 ^a	20 ^a	25 ^a
Plantas/m ²	30	40	113	225	328	388
Hojas /planta	5	7	8	10	9	7

Fuente: Fonkou, (2002)

Lo cual destaca el rápido crecimiento de la planta, debido a que en un período de 25 días tuvo un factor de multiplicación cercano al 13, cabe resaltar que el estudio se realiza en un período de 25 días debido a que la planta es de rápida reproducción y decaimiento (Fonkou, 2002).

El *Echinochloa polystachya* (Kunth), conocido como pasto alemán al igual que el lechuguín es una planta invasora que utiliza como colchón para su crecimiento a la plataforma construida por la comunidad del lechuguín pertenece al género de plantas herbáceas de la familia de las poáceas y su nicho de reproducción es en las zonas templadas. Existe una carencia de información del mismo, pero luego de análisis físicos posee características similares al lechuguín en función de la captura y porcentaje de humedad del mismo, es importante acotar que en la bibliografía encontrada, una de las aplicaciones por su inyección de oxígeno al agua es la de descontaminar aguas servidas en varias ciudades. Por los motivos ya mencionados, se desea evaluar la opción del lechuguín y del pasto alemán como biocombustible mediante la obtención del poder calorífico de la biomasa descrita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las condiciones en las que se realizó la investigación fueron condiciones normales para la ciudad de Sangolquí - Ecuador, Provincia de Pichincha, es decir temperatura promedio ambiente de 18°C y Presión Atmosférica de 74980.5 Pa (0.740 atm) con un diseño experimental del tipo T-student, por el pequeño número de muestras a considerar, para el análisis del intervalo de confianza (Villalba y Arzola, 2015). Para la selección de los valores de humedad para el experimento se tomó en consideración que el porcentaje de humedad de la biomasa en general debe oscilar entre 8 – 12% según la bibliografía ya que en este punto la biomasa puede utilizarlo como biocombustible, debido a esto para la experimentación se consideraron la menor humedad en este caso el 25% ya que en humedades entre el 50% y el 100% el contenido de agua tanto del lechuguín como del pasto alemán es excesivo y toda la energía es consumida para su

evaporación arrojando así datos erróneos al análisis (Rodríguez, 2006). Las muestras de biomasa a estudiar fueron tomadas de la laguna de Limoncocha ubicada en la amazonia ecuatoriana. En la figura 1 se puede observar la biomasa en estado natural, es decir al 100% de humedad, la cual se midió con un higrómetro.



Figura 1. Lechuguín y Pasto Alemán en estado natural (laguna Limoncocha)

A. Secado

El secado de biomasa es un factor de consideración, su aprovechamiento como combustible, debido a que mejora la eficiencia de combustión, evita la degradación de la materia orgánica, facilita el transporte y almacenamiento (Cai & Chen 2008 y Svonja, 2007)

Las investigaciones realizadas sobre el secado de biomasa determinan que la alta temperatura es un factor de suma importancia debido a que puede influir en el deterioro (Pang y Dankin, 1999) y la reducción de poder calorífico (Stahl et al., 2004) de la biomasa.

Existen algunos métodos teóricos y experimentales que buscan predecir la cinética del proceso, tal como lo expresa (Villalba y Arzola, 2015). Por lo cual se determinará experimentalmente un perfil de secado óptimo para la pistia stratiotes y Pasto alemán variando los parámetros de los cuatro perfiles de secado que la máquina medidora de humedad RADWAG PMC50 que posee el laboratorio de Conversión de Energía, la misma que se puede observar en la figura 2.



Figura 2. Equipo medidor de Humedad RADWAG PMC50

B. Determinación del poder calorífico

La combustión de materia orgánica libera energía térmica, la cual es mensurada para la determinación del poder calorífico.

La determinación del poder calórico superior en combustibles sólidos se logra mediante el uso de calorímetros, siendo uno de estos la bomba calorimétrica, este ensayo de tipo experimental, consiste en quemar una determinada cantidad de combustible para que la energía en forma de calor liberada sea absorbida por un fluido conocido, como el agua (Soto y Miguel-Nuñez, 2008).

La combustión se realiza en un ambiente con la cantidad de oxígeno necesaria para que sea completa, esto genera calor el cual eleva la temperatura del agua desde un valor de temperatura inicial, hasta un valor de temperatura final. En las mismas condiciones se realiza ensayos para un combustible de poder calorífico conocido para efectos del estudio, como por ejemplo ácido benzoico, con la finalidad de igualar condiciones de operación y determinar el poder calórico de la muestra desconocida.

Los principales equipos, máquinas e instrumentos que se tomaron en cuenta para los diferentes procesos, mismos que se encuentran en el laboratorio de Conversión de la Energía de la Universidad de Las Fuerzas Armadas - ESPE, entre los cuales se encuentra la:

C. Bomba calorimétrica

La bomba calorimétrica es un recipiente con tapa roscada fabricado en acero inoxidable, en el cual se coloca la muestra de combustible a ensayar. Existen dos barras metálicas que están unidas con un alambre de cobre, y a su vez un filamento de algodón une el combustible y el alambre (Suarez y Castro, 1999). Las barras metálicas están conectadas a un circuito eléctrico que produce una variación de voltaje entre los terminales, elevando la temperatura del alambre y consecuentemente quemando el filamento de algodón y la muestra de combustible (Maridueña, 1997). El combustible a ser ensayado, en caso de ser sólido, se debe cortar y moler para que pueda ser comprimido en una pastilla de 1 gramo y medido en una balanza de precisión (Mishma et al., 2007).

Para que la combustión sea completa, la bomba calorimétrica tiene oxígeno a presión de 20 bares. El proceso se realiza al interior de una camisa adiabática, para evitar flujo del calor hacia los alrededores.

Para la experimentación la bomba calorimétrica adiabática se calibró con ácido benzoico estándar primario (B.C.S. No. 190k) en condiciones certificadas de 26454 KJ/Kg. Para luego realizar las mediciones de acuerdo con la norma ASTM D4868 (ASTM D4868-00; 2010), con una precisión del 0,1%. En la figura 3 se puede observar la bomba calorimétrica empleada en el estudio.



Figura 3. Bomba Calorimétrica Adiabática

A continuación se presenta los datos y análisis para el *pistia stratiotes* ya que el análisis para el *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. refleja resultados similares al mismo.

DISCUSIÓN

Tabla 2. Características Ácido Benzoico

ÁCIDO BENZOICO		
Peso del ácido benzoico	g	1
Energía liberada	J	26454
Temperatura inicial	°C	21.1
Temperatura final	°C	22.1
Elevación de la temperatura	°C	1

Tabla 3. Resultados Poder Calorífico Superior

PODER CALORÍFICO SUPERIOR			
No	T _{final}	Elevación de temperatura	Valor calórico muestra
	[°C]	[°C]	[J/g]
1	21,10	1,05	34720,87
2	21,15	1,09	36043,58
3	21,08	1,04	34390,20
4	21,14	1,09	36043,58
5	21,10	1,07	35382,23
6	21,12	1,06	35051,55
7	21,09	1,04	34390,20
8	21,11	1,03	34059,53
9	21,10	1,08	35712,90
10	21,14	1,07	35382,23
11	21,11	1,10	36374,25
12	21,13	1,05	34720,88
13	21,10	1,10	36374,25
14	21,17	0,92	30422,10
15	21,12	1,10	36374,25

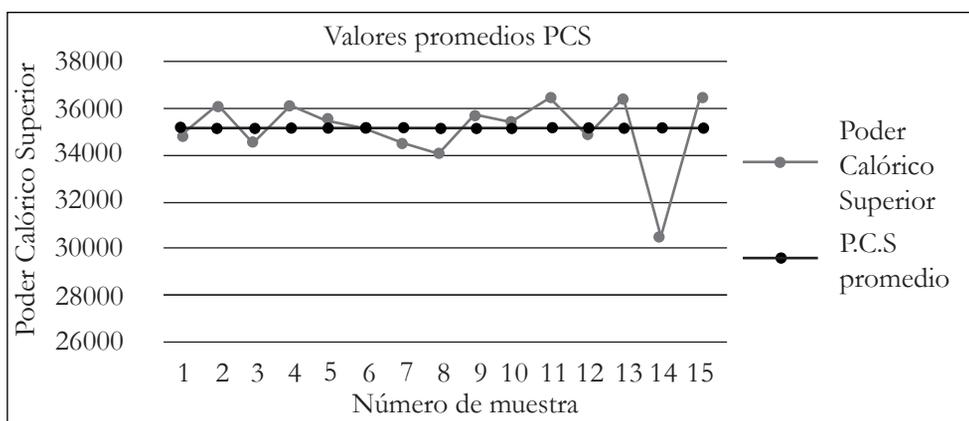


Figura 4. Variación de resultados obtenidos para el poder calorífico superior

Para la variación mostrada en la figura 4 se tiene desviación estándar de 2671,33 con un coeficiente de variación del 12% lo cual indica tener una variación aceptable.

Tabla 4. Resultados Poder Calórico Inferior

PODER CALORÍFICO INFERIOR			
No	T _{final} [°C]	Elevación de temperatura [°C]	Valor calórico muestra [J/g]
1	21,13	0,72	23808,60
2	21,15	0,66	21824,55
3	21,08	0,70	23147,25
4	21,11	0,72	23808,60
5	21,13	0,66	21824,55
6	21,15	0,54	17856,45
7	21,18	0,65	21593,08
8	21,19	0,70	23147,25
9	21,16	0,53	17525,78
10	21,03	0,62	20501,85
11	21,10	0,78	25792,65
12	21,11	0,58	19179,15
13	21,18	0,71	23477,93
14	21,03	0,82	27115,35
15	21,15	0,70	23147,25

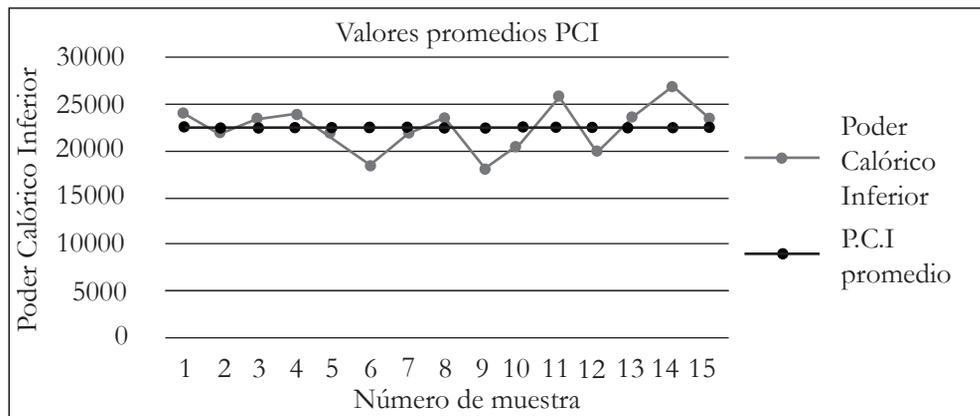


Figura 5. Variación de resultados obtenidos para el poder calorífico inferior

Para la variación mostrada en la figura 5 se tiene desviación estándar de 2671,33 y a su vez un coeficiente de variación del 12% lo cual indica tener una variación aceptable.

Contenido de humedad:

Considerando la relación entre poderes caloríficos

Donde:

W: el tanto por ciento de agua expresado en el experimento (porcentaje de agua + compuestos hidrogenados)

5,85: calor de combustión en K cal de 10 gramos de agua a 20°C

Tabla 5. Porcentaje de Humedad

No	% Humedad
1	4,48925985
2	5,28303861
3	4,75385277
4	4,48925985
5	5,28303861
6	6,87059612
7	5,37564613
8	4,75385277
9	7,00289258
10	5,81222444
11	3,6954811
12	6,34141028
13	4,62155631
14	3,16629526
15	4,75385277

CONCLUSIONES

La desviación estándar del poder calórico superior e inferior fue de 1497,02084 y 2671,33907 respectivamente. Esto indica una variación del 4,12% y 12% que puede ser considerada aceptable.

Los valores arrojados en la experimentación del pasto alemán son similares a los del lechuguín tanto en poder calórico superior como inferior con una variación de menos del 1% esto se debe a que pertenecen a la misma familia herbácea.

Para la realización de las pastillas se debe tomar en cuenta lavar previamente al lechuguín puesto que al momento de realizar las pruebas en la bomba calorimétrica se tendrán errores si no se tiene una pureza aceptable de la planta; es decir si esta se encuentra con mezcla de tierra.

El poder calórico superior promedio fue de 35029,505 J/g y el poder calórico inferior promedio fue de 22250,0185 J/g.

El análisis indica que por los valores arrojados en la experimentación sobre el lechuguín y pasto alemán que pueden ser utilizados como vector energético en bioreactores para gasificación anaerobia como se expone en la bibliografía estudiada y mediante un procedimiento de pelletización en gasificación termoquímica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, U. y Andrade, L. 1998. Etnobotánica del género *Ocimum* L. (Lamiaceae) en la comunidades atrobresileñas. *Analesdar. Bot. Matrid* 56(1): 107-118.
- Abbasi, S. A.; Nipanay, P. C.; & Panholzer, M. B. 1991. Biogas production from the aquatic weed pistia (*Pistia stratiotes*). *Bioresource technology*, 37(3), 211-214.
- Attionu, R. H. 1976. Some effects of water lettuce (*Pistia stratiotes*, L.) on its habitat. *Hydrobiologia*, 50(3), 245-254.
- Cai, J., & Chen, S. 2008. Determination of drying kinetics for biomass by thermogravimetric analysis under nonisothermal condition. *Drying Technology*, 26(12), 1464-1468.
- Fonkou, T. 2002. Potentials of water lettuce (*Pistia stratiotes*) in domestic sewage treatment with macrophytic lagoon systems in Cameroon. In *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste management,* EPCOWM'2002. 709-714.
- Gracia, Carvajal et al. 2016. Aprovechamiento del Bagazo Industrial de café como biomasa para la sustitución parcial de combustible. Repositorio Universidad de Guayaquil.
- Helbing, W. & Burkart, A. 1985. *Tablas químicas: para laboratorios e industria*. Reverté.
- Miretzky, P.; Saralegui, A. & Cirelli, A. F. 2006. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere*, 62(2), 247-254.
- Mishima, D. 2007. ELSEVIER. Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.)
- Maridueña, L. 1997. Unidad de Protección Ambiental. Guayaquil. M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- Neuenschwander, P. 2009. *Pistia stratiotes* L.(Araceae). *Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods*. Cambridge University Press, New York, NY, 332-352.
- Odjegba, V. J. & Fasidi, I. O. 2004. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology*, 13(7), 637-646.
- Pang, S., & Dakin, M. 1999. Drying rate and temperature profile for superheated steam vacuum drying and moist air drying of softwood lumber. *Drying technology*, 17(6), 1135-1147.
- Pantawong, R. 2015. Experimental investigation of biogas production from water lettuce, *Pistia stratiotes* L. *Emergent Life Sciences Research*, 1(2), 14-46.

- Pourrut, P. 1983. Los climas del Ecuador- Fundamentos explicativos. Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Pourrut, P. 1995. El agua en el Ecuador – Clima, precipitaciones, escorrentía. INAMHI
- Ramírez, C. & San Martín, C. 2005. Diversidad de macrófitos chilenos. Macrófitos y vertebrados de los sistemas límicos de Chile. Editorial Universitaria Santiago. Chile. K.
- Reddy, K. R. y DeBusk, W. F. 1984. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort. *Economic Botany*, 38(2), 229-239.
- Rodríguez, M. 2006. La biomasa forestal como fuente de energía. *Ambiente Forestal*.
- Soto, G. y Miguel-Núñez, Maderas. 2008. Ciencia y tecnología. Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de pinus radiata (D. Don), como material aglomerante. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile.
- Suarez, J. y Castro, R. 1999. Evaluación del poder calorífico superior en biomasa. Dpto. Ingeniería Agraria. E.S. y T de Ingeniería Agraria de la Universidad de León.
- Stahl, M. et al. 2004. Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 621-628.
- Svonja, G. 2007. Drying of grain residues and sludges using biomass fuels. *Chem. Eng*, 790, 37-39.
- Villalba, J. y Arzola de la Peña, Nelson. 2015. Modelos matemáticos y experimentales sobre el secado de biomasa. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2).
- Villamagna, A. & Murphy, B. 2010. Ecological and socio economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater biology*, 55(2), 282-298

Recepción: 30/04/2018

Aceptación: 11/06/2018

Correspondencia

Nelson Gabriel Gallo Conrado

nggallo1@espe.edu.ec