



Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*

Phytoremediation of domestic wastewater using the species *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* and *Nasturtium officinale*

Rosmery Yakelini Ayala Tocto¹, Edith Calderón Ordoñez¹, Jesús Rascón¹, Roicer Collazos Silva^{1*}

RESUMEN

En la presente investigación se implementó un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio o piloto con la finalidad de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*, integrado por cuatro sistemas de tratamiento de flujo discontinuo o también llamado por tandas. Este consta de un estanque para cada sistema, el cual simula una laguna pequeña con agua estancada. En estos sistemas se cultivaron plantas como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ninfoides sudamericana (*Nymphoides humboldtiana*), berro de agua (*Nasturtium officinale*). El cuarto sistema consistió en un estanque sin planta acuática al cual se le llamó sistema de control o testigo. El agua residual a tratar se obtuvo de la quebrada de Santa Lucía, donde la población descarga su agua residual. Para determinar la remoción de contaminantes se realizaron evaluaciones cada 15 días, por cuatro veces, para lo cual se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como: temperatura, pH, turbidez, sólidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y fecales. Los resultados muestran que la calidad del efluente tratado cumple en su mayoría con los límites máximos permisibles establecidos en la legislación peruana, obteniéndose un mayor porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes por la especie *Eichhornia crassipes*. Sin embargo, en cuanto a remoción de parámetros físicos y microbiológicos los mejores datos los arrojó la especie *Nymphoides humboldtiana*, y en cuanto a los parámetros químicos con DBO y DQO fue la especie *Eichhornia crassipes* la que obtuvo una mayor eficiencia para la remoción de materia orgánica.

Palabras claves: Tratamiento biológico, especies acuáticas, DBO, DQO, coliformes, aguas residuales.

ABSTRACT

The present investigation, implemented a system of phytoremediation at laboratory or pilot scale with the purpose of evaluating the efficiency of removal of pollutants of the species *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* and *Nasturtium officinale*, integrated by four systems of treatment of discontinuous flow or called by batches; which consists of a pond for each system, which simulates a small pond with standing water. In these systems the plants jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ninfoides sudamericana (*Nymphoides humboldtiana*), watercress (*Nasturtium officinale*) were cultivated and the fourth system consisted of a pond without aquatic plant which was called control system or witness; the residual water to be treated was obtained from the Santa Lucía creek, where the population discharges its residual water. To determine the removal of contaminants, evaluations were made every 15 days, for 4 times, for which physicochemical and microbiological parameters were analyzed, such as: temperature, pH, turbidity, total solids, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD5), total and fecal coliforms. The results show that the quality of the treated effluent complies mostly with the maximum permissible limits established in the Peruvian legislation, obtaining a greater percentage of efficiency of removal of contaminants by the species *Eichhornia crassipes*, however in terms of removal of physical parameters and microbiological species *Nymphoides humboldtiana*, in terms of chemical parameters with BOD and COD the species *Eichhornia crassipes* obtained a greater efficiency for the removal of organic matter.

Keywords: Biological treatment, aquatic species, BOD, COD, coliforms, wastewater.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Calle Higos Urco N° 342-350-356, Calle Universitaria N° 304, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: rcollazos@indes-ces.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la vida humana, no sólo para el consumo sino para llevar a cabo diferentes actividades industriales y agrícolas (ONU, 2003). Estas mismas actividades, sin embargo, están causando cambios significativos para el recurso, lo que provoca la reducción de cantidad y calidad del agua disponible para la humanidad (Arias *et al.*, 2015). En los últimos años se ha incrementado la contaminación de los cuerpos de agua debido al manejo inadecuado de las aguas residuales urbanas (Rodríguez *et al.*, 2010).

Estas aguas residuales generan un serio problema a los cuerpos de agua (Palta y Morales, 2013). Además, no solo afectan al ecosistema sino también a la salud humana debido a que contienen diversos compuestos entre los que se destacan la materia orgánica y los nutrientes (Espigares y Pérez, 2008). La cantidad de agua residual doméstica descargada en ríos, arroyos, lagos o directamente al mar sin un tratamiento adecuado en el Perú oscila entre 160 - 180 L/hab/día (Yee-Batista, 2013).

En las distintas regiones del Perú encontramos una situación muy compleja con respecto al servicio de agua potable y, más aún, al servicio de saneamiento (OZ Perú, 2017). Según el OTASS (2014), en el interior del país menos de la mitad de los efluentes domésticos son tratados, y los efluentes que si se tratan se hacen en plantas de tratamiento de baja tecnología que, junto con el aumento de la población, están expuestos a sobrecargas de diseño, lo que dificulta la entrega de un efluente de buena calidad que no exceda valores ambientales tales como los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA), aún más estrictos.

Este grave problema nos lleva a buscar mecanismos que contrarresten esta situación. Una solución es la remediación de aguas mediante el uso de plantas, o lo que se conoce como fitorremediación. Esta tecnología reduce *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos, debido principalmente a la elevada eficiencia de la plantas en la remoción de materia orgáni-

ca, nutrientes y patógenos, lo que disminuye los posibles efectos adversos de los vertidos sobre los medios receptores. La depuración en dichos sistemas, se realiza mediante la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. Para esto, en la presente investigación, se busca evaluar el potencial fitorremediador de tres especies de planta fitorremediadoras en aguas residuales domésticas. Por lo cual el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial fitorremediador de las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*, para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con efluentes domésticos, colectadas en la quebrada de Santa Lucía, Chachapoyas (Departamento Amazonas).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Los sistemas piloto se instalaron en el INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria), en el distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, Departamento Amazonas, con una altura aproximada de 2334 m.s.n.m. (Figura 1).

Agua a tratar

El agua residual se recolectó a 1 km de la quebrada de Santa Lucía. Esta quebrada se encuentra contaminada debido a que las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chachapoyas desembocan allí.

Sistema de tratamiento

Para el desarrollo de la investigación se instalaron los tratamientos pertinentes. Estos constaron de cuatro sistemas de tratamiento de flujo discontinuo o también llamado por tandas, constituidos por un estanque para cada sistema, el cual simula a una laguna pequeña con agua estancada. En estos sistemas se cultivaron las plantas jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ninfoides sudamericana (*Nymphoides humboldtiana*), berro de agua (*Nasturtium officinale*). Finalmente, el cuarto sistema consistió en un estanque sin planta acuática al cual se le llamó sistema de control o testigo.

Se utilizaron recipientes de plástico (baldes) para

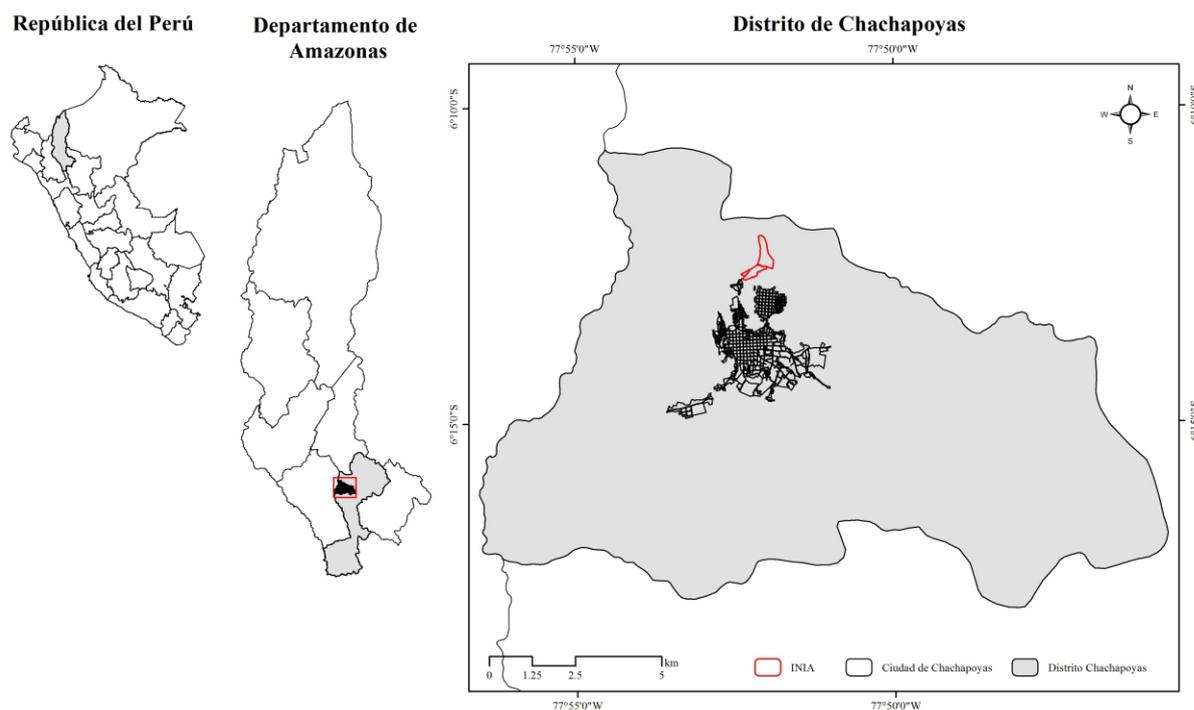


Figura 1. Mapa de ubicación del INIA en el distrito de Chachapoyas (Departamento Amazonas).

ubicar los cuatro sistemas de tratamiento con cuatro repeticiones. Estos mismos fueron acondicionados, colocando en la parte baja del estanque 2,7 cm de arena, seguida por 10 cm de piedra, y finalmente 5 cm de tierra abonada.

El sistema de tratamiento se mantuvo a la intemperie, protegido de lluvias eventuales por una malla plástica a modo de vivero. Quincenalmente se realizó un muestreo para analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos como: temperatura, pH, turbidez, sólidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y fecales. Todo esto se llevó a cabo durante un período de ocho semanas.

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos se analizaron con el software estadístico R x64 3.4.1. Se realizó un análisis de varianza a todos los tratamientos y se procedió a realizar la prueba de Duncan, para realizar comparaciones múltiples entre las variables.

III. RESULTADOS

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se evaluaron fueron: pH, turbidez, sólidos totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y fecales antes y después del tratamiento. En los cuales se obtuvieron los siguientes resultados haciéndose una

Tabla 1. Tabla de resultados de parámetros analizados.

| Parámetros | U. M. | Tratamientos | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------------------|-------|---------|-------|
| | | <i>Eichhornia crassipes</i> | | <i>Nymphoides humboldtiana</i> | | <i>Nasturtium officinale</i> | | Testigo | |
| | | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final |
| Temperatura | °C | 18,47 | 17,90 | 18,47 | 18,80 | 18,47 | 18,98 | 18,40 | 18,10 |
| pH | pH | 8,78 | 7,10 | 8,78 | 7,28 | 8,78 | 7,15 | 8,78 | 7,88 |
| Turbidez | UNT | 300 | 33 | 300 | 24 | 300 | 36 | 290 | 260 |
| Sólidos Totales | mg/L | 2,57 | 0,49 | 2,57 | 0,44 | 2,57 | 0,72 | 2,38 | 2,10 |
| DBO ₅ | mg/LO ₂ | 71,57 | 10,93 | 71,57 | 12,80 | 71,57 | 11,32 | 70,60 | 65,80 |
| DQO | mg/LO ₂ | 79,52 | 12,11 | 79,52 | 14,22 | 79,52 | 12,57 | 78,40 | 72,22 |
| Coliformes Totales | NMP/100 mL | 260 | 21 | 260 | 17 | 260 | 24 | 255 | 240 |
| Coliformes Fecales | NMP/100 mL | 258 | 20 | 258 | 16 | 258 | 24 | 255 | 230 |

comparación con los LMP de la legislación ambiental peruana (Tabla 1).

Con respecto a la remoción de cada especie, se realizó una comparación del porcentaje de cada parámetro (Figura 2).

IV. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se demuestra que *Nasturtium officinale* mantiene al agua con mayor temperatura en comparación con *Nymphoides humboldtiana* y *Eichhornia crassipes*. Según autores como García (2012), la disminución de temperatura de estas especies se debe a que dichas especies tienen hojas gruesas y anchas que se extienden por el agua dándole sombra, e incluso puede disminuir hasta en 3.9°C.

Las remociones obtenidas de los parámetros físicos

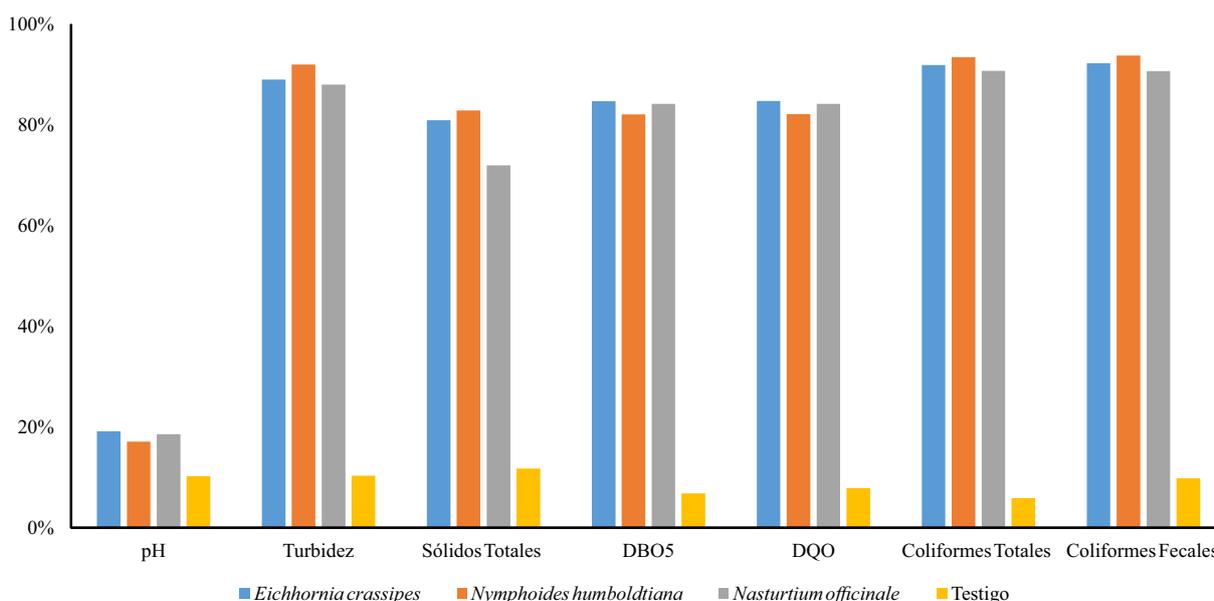


Figura 2. Porcentaje remoción de contaminantes.

se acerque a la neutralidad. El agua residual que ingresó a los tratamientos presentó un pH de 8,78. El tratamiento con *Eichhornia crassipes* bajó los niveles de pH en un 21,41% dejando el pH del agua prácticamente en un estado neutro, mientras que *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana* disminuyeron los niveles el pH en un 19,3% y 18,70%, respectivamente. Esto se debe a que las plantas acuáticas generan una actividad biológica favorable (adsorción, absorción, acumulación, entre otras), es decir, mayor eficiencia

por *Nymphoides humboldtiana*, *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* fueron: sólidos suspendidos totales en un 83,02%, 80,87% y 70,03%, y turbidez en un 92,00%, 90,33% y 89,00%, respectivamente.

Los resultados muestran que los tratamientos son muy buenos removedores de parámetros físicos, sin embargo *Nymphoides humboldtiana* logró mejores remociones que *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*. Celis *et al.*, (2005), manifiestan que esto se debe a que las especies *Eichhornia crassipes* y *Nymphoides humboldtiana* poseen un sistema de raíces que tiene microorganismos asociados a ellas, lo que les permite remover los compuestos orgánicos y disminuir de gran manera los niveles de los parámetros físicos.

La remoción de parámetros químicos demuestra que *Eichhornia crassipes* logra que el pH del agua residual

en la descomposición y biodegradación de materia orgánica, lo cual origina una disminución del pH (Chen *et al.*, 2008).

En la remoción de demanda bioquímica de oxígeno, *Eichhornia crassipes* logró una disminución del 84,72%, *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana* disminuyeron en 84,19% y 82,12%, respectivamente. Estos resultados son corroborados por Rodríguez *et al.* (1996), quien confirma que *Eichhornia crassipes* disminuyó la concentración de DBO5 en

un rango de 80-90%. Además el autor Madsen y Robles (2014), afirma que la disminución de los valores de demanda bioquímica de oxígeno se deben a los microorganismos asociados a la zona radicular. Finalmente, cabe mencionar que la eficiencia en la eliminación de este parámetro está directamente relacionada con la densidad, cobertura y profundidad de esta especie en el agua.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador de las sustancias orgánicas biodegradables y no biodegradables. En el caso de la DQO, la eficiencia en la remoción de este parámetro fue más alta en *Eichhornia crassipes*, con un 90,77%, frente a un 84,77% y 82,12% de remoción de *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana*, respectivamente. La remoción de microorganismos patógenos fue muy eficiente por parte de *Nymphoides humboldtiana*, con un 93,46%, seguido por *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*, con un 91,92% y 90,77%. Los coliformes fecales se redujeron en un 93,8%, 92,25% y 90,7%, respectivamente, si bien es cierto que el porcentaje de remoción de coliformes fecales es alto para cada especie, no están por debajo de los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Por lo que se puede decir que las tres especies utilizadas son buenas para un tratamiento de fitorremediación, pero más eficiencia tuvo la especie *Nymphoides humboldtiana*, muy seguida por *Eichhornia crassipes*, y luego por *Nasturtium officinale*. Pero si se quiere instalar un sistema de tratamiento cualquiera de las tres especies son muy eficientes.

V. CONCLUSIONES

Las especies *Nymphoides humboldtiana*, *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* son muy buenas removedoras de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, ya que *Eichhornia crassipes*, obtuvo una eficiencia promedio de remoción del 81.11%, mientras que *Nymphoides humboldtiana* lo hizo en un 80.71%, y *Nasturtium officinale* en un 77.65%

Sin embargo, se demostró que la mayor eficiencia en cuanto a remoción de parámetros físicos y microbiológicos la obtuvo la especie *Nymphoides humboldtiana*, muy seguida por *Eichhornia crassipes*. En cuanto a remoción de parámetros químicos con DBO y DQO tuvo mayor eficiencia la especie *Eichhornia crassipes*. En este sentido, la especie *Nasturtium officinale* mostró una buena eficiencia de remoción de contaminantes, pero se encuentra por debajo de las dos especies anteriores.

Las aguas residuales tratadas tanto por *Nymphoides humboldtiana*, *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale* presentaron concentraciones de temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, por debajo de los límites máximos permisibles, pero exceden en coliformes fecales. Esto se debe a que el efluente presentó concentraciones excesivas de microorganismos patógenos debido a que las aguas proceden en su mayoría de los servicios higiénicos y cocinas de las viviendas de la ciudad de Chachapoyas.

La turbidez y los organismos patógenos (coliformes totales) no pudieron ser comparados por no estar especificados sus límites de permisibilidad, sin embargo los tratamientos aplicados lograron remociones muy buenas en cuanto a estos parámetros.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, A., A. Ramírez, V. Fernández y N. E. Sánchez. 2015. "The use of Common Duckweed (*Lemna mino*) in the treatment of wastewater from the washing of sisal fiber (*Furcraea bedinghausii*)." *Ingeniería y competitividad* 18 (2): 25-34
- Celis, J., J. Junod, y M. Sandoval. 2005. "Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas." *Theoria* 14 (1): 17-25.
- Chen S. W., C. M. Kao, C. R. Jou, Y. T. Fu, y Y. I. Chang. 2008. "Use of a Constructed Wetland for Post-Treatment of Swine Wastewater." *Environmental Engineering Science* 25 (3):

- 407-417.
- Espigares, M. & J. A. Pérez, 2012. *Aspectos Sanitarios del Estudio de las Aguas*. Granada (España): Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- García, Z. 2012. "Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas Para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas." Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima (Perú).
- Madsen, J y W. Robles. 2014. *Jacinto de agua (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms)*. Marietta (EEUU): Aquatic Ecosystem Restoration Foundation
- MINAM. 2017. "D.S. N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Agua." Lima (Perú).
- ONU. 2003. *Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Nueva York (EEUU): ONU
- OTASS, 2014. *Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento*. Lima (Peru): OTASS
- OZ Perú. 2017. *Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en el Perú*. Lima (Perú): OZ Perú.
- Palta, G. y S. Morales. 2013. "Fitodepuración de Aguas Residuales Domesticas con Poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el Municipio de Popayán, Cauca." *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 11 (2): 57-65
- Rodríguez, C., M. Díaz, L. Guerra, J. M. Hernández. 1996. "Acción Depuradora de Algunas Plantas Acuáticas Sobre las Aguas Residuales." En *I Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. México D.F. (México)
- Rodríguez, J., E. Gómez, L. Garavito y F. López. (2010). "Estudio de Comparación del Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Utilizando Lentejas y Buchón de Agua en Humedales Artificiales." *Tecnología y Ciencias del Agua* 1 (1): 59-68.
- Yee-Batista, C. (2013). "Un 70% de las Aguas Residuales de Latinoamérica Vuelven a los Ríos sin Ser Tratadas." *Banco Mundial, BIRF – AIF*