

ISBN: 978-84-938046-4-0

## ESTUDIO DEL USO DE TRITURADO DE PALMERA COMO SUSTRATO DE HUMEDALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

**Alejandro BORREGUERO FABELO, José Alberto HERRERA MELIÁN, Javier ARAÑA MESA y Alejandro ORTEGA MÉNDEZ.**

CIDIA-FEAM-Dpto. de Química, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus Universitario de Tafira, 35017, Las Palmas de Gran Canaria, España. [alejandro.borreguero101@alu.ulpgc.es](mailto:alejandro.borreguero101@alu.ulpgc.es); [jherrera@dqui.ulpgc.es](mailto:jherrera@dqui.ulpgc.es); [javier.arana@ulpgc.es](mailto:javier.arana@ulpgc.es); [jaortegamendez@gmail.com](mailto:jaortegamendez@gmail.com);

### RESUMEN

Se ha hecho uso de un sustrato orgánico (triturado de palmera) en humedales artificiales para comprobar su idoneidad para el tratamiento de las aguas residuales, tanto en flujo vertical como horizontal y mixto, teniendo en cuenta la eficiencia de eliminación de los parámetros recogidos en la normativa y la posible obturación. Con este sustrato se consiguieron eliminaciones de entre el 80 y el 90% de materia orgánica, más del 98% de eliminación de sólidos en suspensión y turbidez y en torno al 99.9% de eliminación de coliformes fecales. Las conclusiones que se extrajeron del estudio son, en cuanto a los humedales primarios, el funcionamiento más eficiente y robusto de un humedal vertical, aun obturándose, frente al horizontal y al mixto. Por otro lado, en los humedales secundarios se observó un mejor comportamiento del humedal vertical con picado de palmera que de los verticales con grava y picón y que del horizontal con sustrato mineral.

**Palabras clave:** *Humedal artificial, sustrato orgánico, obturación.*

### ABSTRACT

In this study, palm tree mulch was used as substrate in treatment wetlands to prove its suitability to treat raw water in vertical flow as well as in horizontal and hybrid flow, paying attention not only to the elimination efficiency but also to the possible clogging effect. The results were a reduction in organic matter about 80-90%, more than 98% in suspended solids and turbidity and around 99.9% in fecal coliforms elimination. The result from this study shown the mulch used as substrate in wetlands for wastewater treatment is as valid or more than conventional substrate. In the Primary TW, a vertical wetland, although clogging, worked almost like a horizontal one. In the Secondary TW, a vertical wetland with mulch performed better than others with gravels as substrate and a horizontal wetland with gravel and sand.

**Key words:** *Treatment wetland, organic substrate, clogging.*

## INTRODUCCIÓN

Los humedales artificiales son un tipo de Sistema de Depuración Natural (SDN) que imita las condiciones de los humedales naturales. Consisten en lagunas o canales poco profundos que suelen estar plantados con especies propias de zonas húmedas y con un sustrato que provee una superficie sobre la que se pueden fijar las bacterias y además actúa en la eliminación de sólidos en suspensión debido a la filtración que tiene lugar en el proceso (Knight y Kadlec, 1996).

Los humedales pueden tener diferentes diseños, como pueden ser los de flujo libre o los de flujo subsuperficial. Los humedales de flujo libre son estanques o canales en los que el agua se encuentra expuesta a la atmósfera y las plantas emergentes se encuentran enraizadas en una capa impermeable. La alimentación en estos sistemas suele ser continua y las aguas residuales a tratar provienen normalmente de un tratamiento secundario previo.

En cuanto a los humedales de flujo subsuperficial, son estanques o canales con el fondo generalmente impermeable sobre el cual se coloca un medio poroso como arena o grava, en el que se enraízan las plantas. Si el flujo es horizontal, el sustrato se mantiene saturado por el agua mientras que si el flujo es vertical, el sustrato no se encuentra saturado ya que normalmente el régimen hidráulico usado es discontinuo, lo que permite que el agua percole a través del medio de forma similar a lo que sucede en un filtro de arena. Uno de los principales problemas de los humedales con flujo subsuperficial es la obturación del lecho (Knowles et al., 2011), por lo que es necesario un tratamiento previo del influente para eliminar en la medida de lo posible las grasas, aceites, arenas y sólidos en suspensión y así poder prolongar la vida útil del humedal.

En cuanto a las ventajas que presentan los SDN frente a los tratamientos convencionales, destaca la robustez de los sistemas frente a las variaciones de caudal y carga, la simplicidad en su funcionamiento, el casi nulo consumo energético (nulo si el agua residual se traslada por gravedad), integración paisajística en el entorno rural y en el caso de flujo subsuperficial, inexistencia de malos olores y la no proliferación de mosquitos.

Por otro lado, en lo que respecta a los inconvenientes, destaca la mayor superficie necesaria para su implantación en relación a los tratamientos convencionales, la posibilidad de obturación en los humedales de flujo subsuperficial, y en el caso de flujo libre, la posible generación de malos olores y la presencia de mosquitos (Proyecto DEPURANAT, 2006).

Los sustratos típicos usados en los humedales de los que estamos hablando son la grava y la arena. Además de los sustratos minerales, se pueden usar sustratos orgánicos en los humedales artificiales. Aunque no existe mucha bibliografía que trate estos sistemas, se han hecho algunos experimentos usando compost (Aslam, 2007), cáscara de arroz (Tee et al., 2009) y acolchado de madera (Saeed y Sun, 2011) o palma entre otros. Las ventajas de los sustratos orgánicos, desde un punto de vista medioambiental, reside en la reutilización que se hace de un residuo que es muy abundante y que en muchas ocasiones supone un riesgo de incendios forestales. Por otro lado, también es capaz de adsorber compuestos orgánicos, proveer una mayor superficie para el crecimiento de las colonias de microorganismos y debido a su mayor porosidad, se reduce el riesgo de obturación.

El Campus de Tafira de la ULPGC cuenta con uno de los palmerales de palmera canaria (*Phoenix canariensis*) más interesantes de Gran Canaria. De forma periódica se procede a la limpieza de hojas secas de palmera que, una vez trituradas pueden ser empleadas de diversas maneras entre las que destaca el uso como enmienda orgánica para suelos de cultivo o como base para producir compost.

Este material orgánico a base de pencas de palmera trituradas (picado) puede ser empleado como sustrato en humedales de tratamiento de aguas residuales, bien parcialmente en un prefiltro, cuyo objetivo sería la eliminación de sólidos en suspensión que reduzcan el riesgo de obturación del resto del humedal, o bien totalmente, de forma que sustituyan a la arena y la grava.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son:

1. Respecto a los Humedales Primarios: Determinar el efecto del régimen hidráulico, comparando el comportamiento del sustrato orgánico en humedales de flujo vertical (VF), horizontal (HF) y mixto (HyF), empleando altas cargas superficiales para estudiar su funcionamiento en estas condiciones. El VF fue sometido a altas cargas superficiales durante seis meses para determinar su comportamiento en esas condiciones y después de obturarlo (VF1-obt).
2. Respecto a los Humedales Secundarios: Comparar el funcionamiento de los humedales verticales de grava (VFg), picado de palmera (VFp), picón (VFpi) y el horizontal mineral (HFmin).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Descripción de los reactores

#### Humedales Primarios

Los humedales empleados en este estudio fueron recipientes de plástico de 70 y 260 L, es decir, reactores de pequeña escala o microcosmos, y están ubicados al aire libre en el Campus de Tafira de la ULPGC, tratando agua residual cruda sin pretratamiento recibida desde la parte alta de éste y con orígenes tan dispares como los relacionados con la actividad docente, laboratorios, instalaciones deportivas, comedor o cafeterías.

Se emplearon dos reactores primarios, ambos con triturado de palmera como sustrato, pero uno de flujo vertical (VF1) y otro de flujo híbrido (HyF1). El reactor primario (HFy1) había sido previamente empleado con flujo horizontal (HF1).

#### Humedales secundarios

El caudal que sale del HyF1 es recogido en un recipiente desde donde se bombea de forma que una parte se lleva al humedal secundario horizontal mineral (HFmin), otra a dos humedales verticales, uno con grava (VFg) y el otro con picado de palmera (VFp), y una cuarta parte va a un reactor de flujo vertical con grava volcánica o picón (VFpi).

### Parámetros analizados: importancia e interpretación

Los parámetros analizados fueron la DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos en suspensión, turbidez, fosfatos, amonio, coliformes fecales, sodio, pH, conductividad eléctrica y dureza permanente, que son las principales medidas que se tienen en cuenta en la normativa para determinar la posible reutilización del agua tratada.

## RESULTADOS

### Descripción del agua a tratar

Las aguas a tratar fueron las aguas residuales generadas en la parte alta del Campus de Tafira, que comprenden las aguas de cafeterías, laboratorios, baños y centros deportivos. Esta agua es tomada de una arqueta de 17 m<sup>3</sup>, en la que se encuentra una bomba trituradora, controlada por un temporizador. El temporizador permitió programar el régimen hidráulico aplicado a los reactores. Las características son las que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las aguas residuales del Campus de Tafira, según las medidas realizadas en este estudio, de enero de 2013 a julio de 2014. Se dan concentraciones medias  $\pm$  desviación estándar y número de datos (n).

Parámetros	Valor
DBO <sub>5</sub> (mg/L de O <sub>2</sub> )	444 $\pm$ 131, n: 59
DQO (mg/L de O <sub>2</sub> )	552 $\pm$ 162, n: 71
SS (mg/L)	252 $\pm$ 133, n: 64
Turbidez (UNT)	209 $\pm$ 97, n: 82
Amonio (mg/L)	68 $\pm$ 21, n: 60
Fosfatos (mg/L)	34 $\pm$ 8, n: 18
Colis fecales (UFC/100 mL)	1.91 ( $\pm$ 1.48)·10 <sup>7</sup> , n: 15
Na <sup>+</sup> (mg/L)	155 $\pm$ 40, n: 10
pH (Unidades de pH)	6.93 $\pm$ 0.27, n: 29
Ce (mS/cm)	1665 $\pm$ 590, n: 29
Dureza permanente (Ca+Mg) (meq/L)	1.91 $\pm$ 0.22, n: 10
RAS	7.2 $\pm$ 1.4, n: 8

### Resultados de los Humedales Primarios

La Tabla 2 muestra los valores medios ( $\pm$  desviación estándar y número de datos, n) de las cargas superficiales hidráulicas (HLR) y las eficiencias de eliminación de los parámetros estudiados, en los distintos reactores durante el período de estudio.

Tabla 2. Cargas superficiales medias aplicadas (valor  $\pm$  desviación estándar) y eficiencias (% de remoción) obtenidas por los Humedales Primarios. Las unidades de la carga hidráulica (HLR) son L/m<sup>2</sup>d, las de carga superficial de turbidez son NTUxL/m<sup>2</sup>d, las de coliformes fecales son UFC/m<sup>2</sup>d y las demás son g/m<sup>2</sup>d.

Carga $\pm$ desv std Remoción (%)	HF1	HyF1	VF1	VF1-obt
HLR	147 $\pm$ 65	134 $\pm$ 46	412 $\pm$ 107	132 $\pm$ 65
DBO <sub>5</sub>	71 $\pm$ 20 61	53 $\pm$ 23 80	266 $\pm$ 146 83	62 $\pm$ 27 81
DQO	86 $\pm$ 29 64	100 $\pm$ 44 58	317 $\pm$ 104 78	75 $\pm$ 44 60
SS	35 $\pm$ 15 85	35 $\pm$ 23 84	154 $\pm$ 62 95	38 $\pm$ 27 83
Turbidez	29 $\pm$ 12 77	34 $\pm$ 16 75	98 $\pm$ 45 70	38 $\pm$ 22 65
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11 $\pm$ 4 -13	8 $\pm$ 2 -26	33 $\pm$ 10 33	10 $\pm$ 5 -33
Fosfatos	-	4 $\pm$ 1 -10	-	5 $\pm$ 2 -13
Coliformes fecales	-	2.6 ( $\pm$ 2.3)x10 <sup>10</sup> 90	-	2.1 ( $\pm$ 1.4)x10 <sup>10</sup> 86

Los resultados referentes a la DQO (Figura 1) muestran que el VF1 (78%) fue más eficiente que el HF1 (64%), a pesar de que las cargas aplicadas fueron notablemente superiores, y se observa también que el VF1 obturado (VF1-obt) funciona ligeramente mejor que los horizontales.

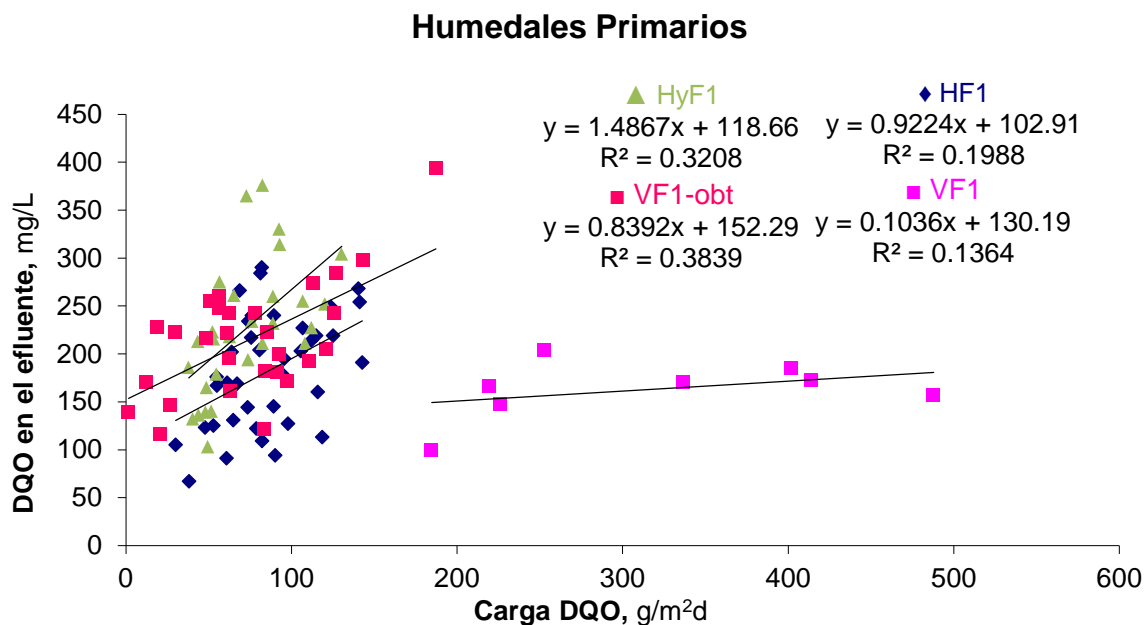


Figura 1. DQO del efluente con respecto a carga de DQO influente para los reactores primarios: HF1 (◆), HyF1 (▲), VF1 (■) y VF1-obt (■).

### Resultados de los Humedales Secundarios

El efluente del Humedal Primario tanto Horizontal (HF1) como Híbrido (HyF1) fue empleado como influente de los Humedales Secundarios de picado (VFp), de grava (VFg), de picón (VFpi) y mineral (HFmin). Para poder comparar la eficiencia de remoción de los distintos reactores es necesario tener en cuenta las cargas aplicadas a cada reactor. La Tabla 3 muestra las cargas medias aplicadas y las eficiencias obtenidas por los distintos Humedales Secundarios.

La Figura 2 muestra las concentraciones de DQO del efluente de los humedales secundarios. La recta horizontal indica el valor de 125 mg/L de O<sub>2</sub> de la normativa. La concentración media del HFmin fue de  $110 \pm 37$  (n: 45), la del VFg de  $105 \pm 29$  (n: 47), del VFp de  $105 \pm 29$  (n: 48) y el VFpi  $118 \pm 30$  (n: 17). Como puede observarse, el VFp y el VFg dieron resultados idénticos y fueron los que dieron mejores resultados, con el valor más bajo de DQO y casi todos los valores por debajo de 125 mg/L, aunque las diferencias entre las concentraciones de los 4 reactores no son significativas.

Las eficiencias globales de remoción de DQO fueron de 82% para el HF1+VFg, de 80% para el HF1+VFp, de 79 % para el HF1+HFmin y de 79% para el HF1+VFpi.

Tabla 3. Cargas superficiales medias aplicadas (valor  $\pm$  desviación estándar) y eficiencias (% de remoción) obtenidas por los Humedales Secundarios. Las unidades de la carga hidráulica (HLR) son L/m<sup>2</sup>d, las de carga superficial de turbidez son NTUxL/m<sup>2</sup>d, las de coliformes fecales son UFC/m<sup>2</sup>d y las demás son g/m<sup>2</sup>d.

Carga $\pm$ desv std Remoción (%)	HFmin	VFg	VFp	VFpi
HLR	68 $\pm$ 48	475 $\pm$ 218	502 $\pm$ 235	150 $\pm$ 89
DBO <sub>5</sub>	25 $\pm$ 47 54	45 $\pm$ 35 86	56 $\pm$ 51 92	10 $\pm$ 10 73
DQO	23 $\pm$ 25 45	93 $\pm$ 51 52	114 $\pm$ 71 52	34 $\pm$ 27 38
SS	2 $\pm$ 2 79	20 $\pm$ 16 85	22 $\pm$ 18 91	5 $\pm$ 5 69
Turbidez	3 $\pm$ 2 89	24 $\pm$ 18 91	25 $\pm$ 19 96	9 $\pm$ 7 82
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5 $\pm$ 5 26	39 $\pm$ 19 46	38 $\pm$ 19 61	17 $\pm$ 10 -3
Fosfatos	1 $\pm$ 1 25	18 $\pm$ 10 17	18 $\pm$ 10 15	5 $\pm$ 2 8
Coliformes fecales	1.3 ( $\pm$ 2.2)x10 <sup>9</sup> 99.21	1.5 ( $\pm$ 1.7)x10 <sup>10</sup> 96.79	1.9 ( $\pm$ 2.4)x10 <sup>10</sup> 99.54	7 ( $\pm$ 10)x10 <sup>6</sup> 84.55

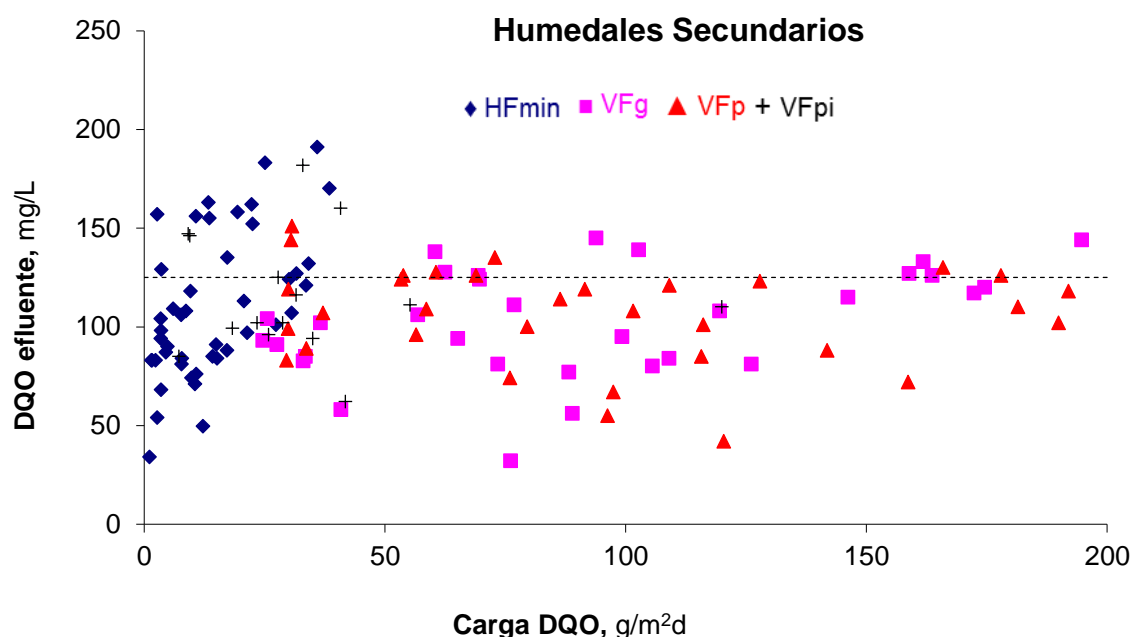


Figura 2. DQO del efluente con respecto a carga de DQO influente para los reactores secundarios: HFmin ( $\blacklozenge$ ), VFg ( $\blacksquare$ ), VFp ( $\blacktriangle$ ) y VFpi (+).

### Efecto del régimen hidráulico

En humedales verticales se suele emplear una dosificación discontinua del reactor para alternar períodos de aireación con períodos de inundación. De esta forma se obtienen altos niveles de nitrificación, remoción de materia orgánica y bacterias (Zurita y White, 2014). Sin embargo, en trabajos anteriores (Herrera Melián et al., 2010) se obtuvieron buenos resultados aplicando una alimentación continua de los VFs. Por eso se decidió estudiar el efecto de la dosificación, continua o discontinua, en estos reactores. La Tabla 4 recoge las

cargas superficiales aplicadas a ambos reactores y las eficiencias obtenidas con cada régimen hidráulico.

Tabla 4. Cargas superficiales aplicadas a VFg y VFp, concentración del efluente y eficiencias (% de remoción) obtenidas con cada régimen hidráulico. Las unidades de carga superficial de turbidez son NTUxL/m<sup>2</sup>d y las demás son g/m<sup>2</sup>d. Las unidades de concentración del efluente de turbidez son UNT y las demás son mg/L.

Carga ± desv std	VFg		VFp	
	Continuo	Discontinuo	Continuo	Discontinuo
Concentración ± desv std				
Remoción (%)				
DBO <sub>5</sub>	<b>64 ± 31</b> 27 ± 14 84	<b>22 ± 26</b> 14 ± 14 90	<b>87 ± 48</b> 12 ± 13 90	<b>17 ± 16</b> 3 ± 2 95
DQO	<b>119 ± 45</b> 105 ± 33 55	<b>51 ± 26</b> 100 ± 23 47	<b>137 ± 63</b> 99 ± 32 57	<b>55 ± 25</b> 103 ± 23 44
SS	<b>26 ± 15</b> 6 ± 3 85	<b>15 ± 15</b> 8 ± 4 78	<b>32 ± 20</b> 3 ± 1 93	<b>11 ± 10</b> 4 ± 2 87
Turbidez	<b>27 ± 16</b> 4 ± 2 95	<b>21 ± 21</b> 6 ± 3 87	<b>32 ± 21</b> 1 ± 0 97	<b>17 ± 14</b> 2 ± 1 94
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>39 ± 16</b> 35 ± 22 53	<b>38 ± 24</b> 64 ± 28 33	<b>43 ± 21</b> 20 ± 17 73	<b>30 ± 13</b> 55 ± 25 41

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo se pueden extraer varias conclusiones de la comparación entre los diferentes reactores y configuraciones estudiados.

### Humedales primarios

En el comportamiento de los humedales primarios, según lo que se desprende del tratamiento estadístico de los datos, sólo existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la DBO y en turbidez. En DBO, se consiguió una mejor eficiencia de eliminación en el HyF1 y VF1-obt que en el HF1, mientras que en turbidez se obtuvieron datos mejores de eficiencia en el HF1 y HyF1 que en el VF1-obt. La principal conclusión que se puede obtener de estos trabajos es que un humedal vertical funciona claramente mejor que uno horizontal o híbrido a pesar de aplicarle cargas muy superiores. Si llegara a obturarse el humedal vertical seguiría funcionando con la misma eficiencia que uno horizontal o híbrido.

### Humedales secundarios

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores, se puede concluir que el picado usado como sustrato de humedales para el tratamiento de aguas residuales es tan válido o más que la grava, sustrato convencional y que no tiene las ventajas medioambientales que presenta el picado y que se expusieron ya en la introducción del documento.

## REFERENCIAS

- Aslam, M. M. (2007). *Treatment performances of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan*. *Ecological Engineering* 30: 34-42.
- Herrera, J. A., Martín, A. J., Araña, J., González, O. y González, J. J. (2010). *Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in the Canary Islands*. *Ecological Engineering* 36: 891-899.
- Knight, R. L. y Kadlec, R. H. (1996). *Treatment wetlands*. Boca Ratón. Lewis Publishers.
- Knowles, P., Dotro, G., Nivala, J. y García, J. (2011). *Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors*. *Ecological Engineering* 37: 99-112.
- Proyecto DEPURANAT. (2006). *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales*. Tenerife. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Saeed, T. y Sun, G. (2011). *A comparative study on the removal of nutrients and organic matter in wetland reactors employing organic media*. *Chemical Engineering Journal* 171: 439-447.
- Tee, H. C., Seng, C. E., Noor, A. M. y Lim, P. E. (2009). *Performance comparison of constructed wetlands with gravel- and rice husk-based media for phenol and nitrogen removal*. *Science of the Total Environment* 407: 3563-3571.
- Zurita, F. y White, J. R. (2014). *Comparative Study of Three Two-Stage Hybrid Ecological Wastewater Treatment Systems for Producing High Nutrient, Reclaimed Water for Irrigation Reuse in Developing Countries*. *Water* 6: 213-228.