

# Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicada en Tauramena, Casanare

Proposal For Treatment Of Domestic Wastewater Implementing A Subsuperficial Flow Artificial Wetland Employing Bambusa sp On The Farm El Recreo In Tauramena, Casanare

---

Carvajal Arias Carel Elizabeth, Ortiz Paola, Vega Beltran Angy Lariza

## Resumen

**E**n la presente investigación se realizó la propuesta para el diseño de un humedal de flujo subsuperficial empleando *Bambusa sp* en el tratamiento de aguas residuales domésticas, generadas por la finca el Recreo en Tauramena. La investigación se llevó a través de un alcance descriptivo y alcance cuantitativo, llevando en primera instancia a la caracterización física, química y microbiológica del agua residual doméstica sin tratamiento mediante el análisis de 19 parámetros de calidad; luego de la determinación de la calidad del efluente se comenzó con el diseño y construcción de la prueba piloto con *Bambusa sp* como macrófita experimental y una segunda prueba con *Heliconia psittacorum* siendo esta la

## Abstract

**I**n the present research the proposal was made for the design of a subsurface flow wetland using *Bambusa sp* and *Heliconia psittacorum* in the treatment of domestic wastewater, generated by the property of Recreo in Tauramena. The research was carried out using the descriptive and quantitative method, leading to the physical, chemical and microbiological characterization of the domestic wastewater without treatment, the effluent of the pilot test with *Bambusa sp* as macrophyte and the effluent of the pilot test with the plant *Heliconia psittacorum*, for which the analysis was carried out by in situ and in vitro sampling, the latter was expressed in the Biopolab laboratory the parameters of BOD, COD, fats and

---

Recibido / Received: Marzo 23 del 2017 Aprobado / Approved: Abril 19 del 2017

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: carvajalcarel@unbosque.edu.co.

Las autoras declaran que no tienen conflicto de interés.

macrófita control. Al agua resultante de las dos pruebas piloto se les realizó las mismas pruebas de calidad que al agua del efluente sin ningún tratamiento, mediante un análisis in situ e in vitro, este último dividido en dos grupos siendo los parámetros más relevantes DBO, DQO, grasas y aceites y fosforo analizados en el laboratorio Biopolab, los demás parámetros en los laboratorios de la Universidad El Bosque. Los resultados de la demanda química de oxígeno para aguas residuales domésticas de 768 mg / L de O<sub>2</sub> mostraron una disminución en el parámetro en la prueba piloto utilizando *Bambusa sp* a 288 mg / L de O<sub>2</sub> e incluso más para *Heliconia psittacorum* De 44,8 mg / L de O<sub>2</sub>, La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para las aguas residuales no tratadas fue de 446 mg / L de O<sub>2</sub>, seguida de *Bambusa sp* correspondiente a 186 mg / L de O<sub>2</sub> y la planta de control de 24 mg / L de O<sub>2</sub>; el total de sólidos en suspensión para aguas residuales domésticas fue de 1407,5 mg / L, la prueba piloto de *Bambusa sp* de 557,5 mg / L y la prueba piloto *Heliconia psittacorum* de 516,25 mg / L; (N-NO<sub>2</sub>-), color, dureza total, alcalinidad total, salinidad y pH (incremento positivo) de los 19 parámetros analizados.

Según los resultados obtenidos en los diferentes análisis se concluye que la eficacia de la *Bambusa sp* en el tratamiento de aguas residuales domésticas es de un 73% frente a un 79% de la *Heliconia psittacorum*, siendo esta última más eficiente. Es posible presentar los humedales artificiales como una opción viable para el tratamiento complementario de aguas residuales domésticas, reduciendo los efectos adversos de los vertimientos sobre los medios receptores. Además de ofrecer la opción de reutilizar el efluente tratado como agua de riego para plantas de jardín haciendo de la finca El Recreo sostenible y sustentable en cuanto a su economía generando menor impacto ambiental.

**Palabras claves:** Agua residual, Calidad del agua, Contaminantes, Saneamiento, Tratamiento del agua.

oils and total phosphorus, the other parameters in the Laboratories provided by the Universidad El Bosque. The results of the chemical oxygen demand for domestic waste water of 768 mg/L O<sub>2</sub> showed a decrease in the parameter in the pilot test using *Bambusa sp* at 288 mg / L O<sub>2</sub> and even more for *Heliconia psittacorum* Of 44.8 mg / L O<sub>2</sub>, the Biochemical Oxygen Demand (BOD), for untreated waste water was 446 mg / L O<sub>2</sub>, followed by *Bambusa sp* corresponding to 186 mg/L O<sub>2</sub> and the control plant a 24 mg / L O<sub>2</sub>; total suspended solids for domestic wastewater was 1407.5 mg / L, *Bambusa sp* pilot test of 557.5 mg / L and pilot test *Heliconia psittacorum* of 516.25 mg / L; (N-NO<sub>2</sub>-), color, Total hardness, total alkalinity, salinity and pH (positive increase) of the 19 parameters analyzed.

According to the results obtained in the different analyzes, it is concluded that the efficiency of *Bambusa sp* in the treatment of domestic wastewater is 73% compared to 79% of *Heliconia psittacorum*, the latter being more efficient. It is possible to present artificial wetlands as a viable option for the complementary treatment of domestic wastewater, reducing the adverse effects of the slopes on the receiving means. In addition to offering the option to reuse treated effluent as irrigation water for garden plants making the farm the Recreo sustainable and sustainable in terms of its economy generating less environmental impact.

**Key words:** Index Terms—Residual water, Water quality, Contaminants, Sanitation, Water treatment

## Introducción

La calidad del agua es una situación actual que preocupa a países desarrollados y en proceso de desarrollo, debido a la repercusión que tiene en la salud de la población [1]. Por esta razón es necesario contar con una gestión competente y responsable de los recursos hídricos, especialmente en el tratamiento de aguas residuales, para así reducir el efecto de las actividades humanas en el medio ambiente.

El tratamiento de aguas en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La constante descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando ¿porqué están contaminando? los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana [4]. Colombia trata el 10% de las aguas resi-

duales a pesar de contar con una capacidad instalada que alcanzaría el 20%. Según un estudio de UNICEF, menos de la cuarta parte de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales [5].

De acuerdo al diagnóstico realizado en abril del 2008 en el Municipio de Tauramena, este cuenta con la cobertura de saneamiento básico de un 96% en la zona urbana y un 50% en la parte rural [6].

Debido a la necesidad de intervenir este panorama ambiental tan preocupante, surgen diferentes estrategias de implementación en los procesos de tratamiento de agua residual. Estas estrategias están cada vez más a la vanguardia de los requerimientos ambientales y buscan optar por las soluciones más sanas para el ambiente. En la actualidad, es muy común ver como diferentes métodos de depuración de aguas residuales que emplea plantas para eliminar, contener o degradar contaminantes medioambientales en medios hídricos como son los humedales artificiales.

Es por ello que en la presente investigación se evaluó el uso de un humedal artificial empleando *Bambusa sp* mediante una prueba piloto, como método para el tratamiento de aguas residuales domesticas generadas en la finca El Recreo.

## Materiales y métodos

- a. Diagnóstico Inicial de la calidad del agua: inicialmente se determinaron los parámetros a evaluar de acuerdo a la Resolución 0631 de 2015.

La resolución 0631 de 2015 en el capítulo V, artículo 8 establece los parámetros de análisis físicos, químicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas (ARD) [9]. En la tabla I se identifican los parámetros escogidos y sus respectivas unidades de medida:

Parámetro	Unidades	Método
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	Closed Reflux, Titrimetric
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	5 day BOD Test
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	Secados a 103-105°C
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	Volumetrico
Grasas y Aceites	mg/L	Partición gravimétrica
Fósforo Total (P)	mg/L	Colorimetric Method-Stannous Chloride
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Test Nitrato
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Test Nitrito
Color	m-1	Multiparametro Photometrico
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Test Dureza Total
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Test Alcalinidad
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Número Más Probable
Coliformes Totales	NMP/100ml	Número Más Probable
Turbidez	NTU	Turbidimetro
Conductividad	μS	Multiparametro
Temperatura	° C	Multiparametro
Salinidad	ppt	Multiparametro
Oxígeno disuelto	mg/L O <sub>2</sub>	Test Disolved Oxygen

La recolección de las muestras se realizó teniendo en cuenta el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales TI0187 de 2007 Versión 03 y llenando el formato de captura de datos de agua superficial contaminada FM0346, ambos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

**Tabla 1.** Parámetros, unidades y valores límite

Parámetro	Unidades	Método
pH	Unidades de pH	Multiparametro

Para la determinación de la calidad de los vertimientos de aguas residuales domésticas generadas en la finca El Recreo, se tuvieron en cuenta los 19 parámetros escogidos previamente por los autores y mediante búsqueda bibliográfica se seleccionó el método a utilizar para el análisis de cada parámetro.

Para el planteamiento del diseño del humedal de flujo subsuperficial se estimaron los caudales de diseño, y las dimensiones del humedal.

Para este punto se tendrán en cuenta los resultados obtenidos del análisis inicial de la calidad del agua.

La determinación del caudal se realizó mediante el método de tanques de igualamiento que consiste en amortiguar las variaciones de caudal para lograr una aproximación constante. El volumen se calculó por medio de una gráfica de masas, por lo cual el flujo acumulado se grafica en función del tiempo en horas. El caudal promedio diario, en dicha gráfica, se representa por la recta que une el origen con el punto final de la curva del caudal acumulado [2].

Para establecer las dimensiones de un humedal artificial y la determinación de otros materiales a emplear en su construcción hay cuatro factores principales: flujo afluente (caudal), características del afluente, concentración y las características que debe cumplir el afluente [3]. Para la determinación de las dimensiones fue necesario el uso de los cálculos de la *Ley de Darcy*.

*Superficie del humedal artificial en m<sup>2</sup>*: el tamaño debe tener dimensiones que sean capaz de asimilar el aporte del líquido y de procesarlo adecuadamente.

$$A = \frac{Q - \ln C_0 \ln C_t}{K_{DBO}} \quad (1)$$

Donde:

A = Superficie del humedal artificial en m<sup>2</sup>.

Q = Flujo afluente, en m<sup>3</sup>/día.

C<sub>0</sub> = Promedio diario de DBO<sub>5</sub> en el afluente, en mg/L.

C<sub>t</sub> = Límite de DBO<sub>5</sub> diario que debe cumplir el efluente, en mg/L.

K<sub>DBO</sub> = Flujo constante que admite en m/día.

*Sección transversal del lecho en m<sup>2</sup>*: la sección transversal se calcula teniendo en cuenta la relación longitud-anchura del humedal artificial usando:

$$A_c = \frac{Q_s}{K \frac{dh}{ds}} \quad (2)$$

Donde:

A<sub>c</sub> = sección trasversal en m<sup>2</sup>

Q<sub>s</sub> = flujo afluente en m<sup>3</sup>/día

K = conductividad hidráulica en m/seg

$\frac{dh}{ds}$  = pendiente en m/m

Citar las ecuaciones en el texto.

- b. Calidad final del agua: montaje de prueba piloto, caracterización de los parámetros establecidos inicialmente y análisis in situ e in vitro.

Para la puesta en marcha de la prueba piloto que simularía el humedal artificial original, se reutilizaron canecas de 55 galones, arena fina, grava media y grava fina utilizadas como filtro, los cuales se lavaron para evitar presencia de arcilla y limo que puedan afectar su proceso, por último se utilizó tubos de PVC de 1 pulgada y polisombra. Los materiales mencionados anteriormente, se utilizaron la misma proporción para las dos pruebas piloto, siendo una para la macrófita seleccionada la *Bambusa sp* y la otra para la macrófita control la *Heliconia psittacorum*; además son nativas de la zona de estudio. Climatología: la prueba piloto se ubicó en un espacio abierto, donde estuvo expuesto a agentes climáticos, como la precipitación y la luz solar, relevantes en la investigación; ya que permite evaluar la reacción del sistema frente a esta clase de fenómenos naturales.

**Tabla 2.** Climatología de tauramena, casanare

Climatología de tauramena-casanare	
Altura sobre el nivel del mar	150 m.s.n.m
Precipitación	1600 mm
Humedad Relativa	79%
Temperatura	27°C
Brillo solar	1700 horas/año

En la tabla III se muestra el tamaño del material filtrante:

**Tabla 3.** Sustrato seleccionado

Sustrato	Tamaño efectivo $d_{10}$ , mm	Porosidad efectiva
Arena fina	0 - 2	0.3
Grava media	20 - 35	0.35
Grava gruesa	36 - 40	0.4

## Resultados y discusión

### Determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua residual (afluente) y el agua posterior a su tratamiento (efluente)

En general se obtuvieron reducciones considerables de los parámetros evaluados, para las dos macrófitas seleccionadas, en la Tabla IV se observa los resultados obtenidos para las tres muestras, mientras en la Tabla V se observa la capacidad de remoción para cada parámetro que presento disminución después del tratamiento de agua residual doméstica con las dos plantas.

De acuerdo con la investigación realizada por Marín Montoya y Correa Ramírez [7], en la que realizaron dos humedales artificiales subsuperficial horizontal con *Guadua angustifolia* utilizando diferente sustrato, una con arena y la otra con grava, los cuales arrojaron resultados de DQO (84,31% y 64,35%), DBO<sub>5</sub> (92,21% y 72,88%) respetivamente, Nitrato (se aproxima a 0 mg/L, aunque en el tiempo se presencia remoción negativa, nitrito (se aproximan a 0 mg/L) y oxígeno disuelto (3 y 4 mg O<sub>2</sub>/L), es posible compararlos con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que tuvieron mayor capacidad de remoción, en cuanto a la DQO (62,5%), DBO<sub>5</sub> (58,3%), nitrato (11mg/L), por otro lado, el oxígeno disuelto tiende ser mayor de 10 mg/L, ya que sobrepaso el límite del Test Disolved Oxygen con respecto al resultado del tratamiento con la macrófita *Bambusa sp* la cual no se pudo determinar su aumento o disminución comparándolo con el resultado del agua residual doméstica en el presente estudio; además el leve aumento de nitritos, se debe a la inestabilidad en aguas residuales, y más en sistemas que son aerobios en donde se oxidan fácilmente a nitratos como en la prueba piloto. Por otro lado, los coliformes fecales y totales disminuyeron drásticamente siendo un factor positivo para el riego de plantas decorativas, además estos resultados concuerda con los antecedentes de humedales de flujo subsuperficial horizontal con las dos macrófitas mencionadas anteriormente.

**Tabla 4.** Parámetros con los respectivos resultados obtenidos y comparados con la norma de vertimientos

Parámetro	Unidad	Valores en la norma	Resultados obtenidos		
			Agua sin tratar	Prueba piloto	
				Bambusa sp	Heliconia psittacorum
pH	pH	6,00 a 9,00	5,23	7,32	6,4
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	200,00	768	288	44,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	90,00	446	186	24
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	100,00	1407,5	5575	516,25
Sólidos Sedimentables	mL/L	5,00	1,6	0,1	0,8
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	223	13,3	13,3
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte	19,1	2,97	3,17
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	mg/L	Análisis y reporte	17	11	2,3
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	mg/L	Análisis y reporte	0,0037	0,12	0,03

Parámetro	Unidad	Valores en la norma	Resultados obtenidos		
			Agua sin tratar	Prueba piloto	
				Bambusa sp	Heliconia psittacorum
Color	UPC	Análisis y reporte	688	3976	247
Dureza Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	35	-----	125
Alcalinidad Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	530	2850	930
Coliformes Fecales	NMP/100ml	----	390	4,0	23
Coliformes Totales	NMP/100ml	----	1600	33	79
Turbidez	NTU	----	235	920	97,7
Conductividad	μS	----	229,9	109,4	280,9
Temperatura	°C	40,00	26,5	26,7	26,6
Salinidad	PPT	----	0,1	0,5	0,2
Oxígeno disuelto	mg/L. O <sub>2</sub>	----	35	-----	0,2

Es importante resaltar que el estudio anteriormente mencionado tuvo un proceso de 20 semanas, los cuales se realizó 18 registros semanales con tiempo de retención hidráulica de 6 días, en comparación al presente estudio de 1 registro con un tiempo de retención de 5 días; por lo tanto entre más días de retención, mayor será la capacidad de remoción para la *Bambusa sp*.

**Tabla 5.** Porcentaje de remoción de contaminantes

Parametro	Bambusa sp	Heliconia psittacorum
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	62,5 %	94,1 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	58,3 %	94,6 %
Sólidos Suspendidos Totales	60,4 %	63,3 %
Sólidos Sedimentables	93,7 %	50,0 %
Grasas y Aceites	94,0 %	94,0 %
Fósforo Total (P)	84,4 %	83,4 %

Parametro	Bambusa sp	Heliconia psittacorum
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	35,3 %	86,5 %
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	----	----
Color	----	64,1 %
Dureza Total	----	----
Alcalinidad Total	----	----
Coliformes Fecales	98,9 %	94,1 %
Coliformes Totales	97,9 %	95,1 %
Turbidez		58,4 %
Conductividad	52,4 %	----
Salinidad	----	----
Oxígeno disuelto	----	----
Total	73,78 %	79,78 %

Por otro lado la *Heliconia psittacorum* es una especie convencional en el tratamiento de aguas residuales domésticas como macrófita en el sistema, presenta facilidad de crecimiento, disponibilidad y adaptación a un



clima tropical, indica que el buen estado de las raíces y rizomas tienen una gran capacidad colonizadora, además proporciona una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula, aumentando los microorganismos depuradores en la remoción de contaminantes [8].

Además el tratamiento con *Heliconia psittacorum* presento un resultado óptimo para el parámetro de oxígeno disuelto para la adaptación de los microorganismos, aumentando la remoción de materia orgánica, en cuanto a los nutrientes captados en los tallos y hojas fueron mayores que la *Bambusa sp* con respecto a los resultados obtenidos de cada parámetro.

Por lo tanto los resultados fueron positivos para la eficacia de la *Bambusa sp* y *Heliconia psittacorum* como macrófitas para un humedal artificial de flujo subsuperficial, ya que los dos tratamientos tuvieron una capacidad de remoción mayor del 50%, aunque la planta control tuvo mayor eficiencia de eliminación que corresponde al 79,78% mientras que la macrófita *Bambusa sp* fue de 73,78%. Esta última es una macrófita de medio no convencional para humedales artificiales, al contrario la planta control es convencional para uso en estos sistemas, por su alta remoción de la materia orgánica.

## Construcción Prueba Piloto

En la figura 1 se observa la construcción de los humedales a escala, elaborados por los autores, en los que se coloca a prueba las capacidades de las macrófitas escogidas durante la presente investigación. El humedal a escala de la izquierda fue construido empleando *Bambusa sp* y el de la derecha empleando *Heliconia psittacorum*.

**Figura 1.** Prueba piloto empleando bambusa sp y heliconia psittacorum



**Tabla 6.** Procesos de remoción de contaminantes en un humedal artificial de flujo subsuperficial

Contaminante	Proceso
Materia orgánica (MO) (Medida como DBO <sub>5</sub> O DQO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partículas de MO son eliminadas por la sedimentación y filtración, luego convertidas a DBO<sub>5</sub>.</li> <li>• La MO soluble es fijada y absorbida por el biofilm y degradada por las bacterias adheridas en este.</li> </ul>
Sólidos suspendidos totales (SST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación y filtración.</li> <li>• Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificación / Desnitrificación por el biofilm.</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención en el lecho de arena (adsorción)</li> <li>• Precipitación con aluminio, hierro y calcio.</li> <li>• Absorción de plantas (onfluencia limitada)</li> </ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación y filtración</li> <li>• Absorción por el biofilm</li> <li>• Depredación por protozoarios</li> <li>• Eliminación de bacterias por condiciones ambientales desfavorables (temperatura y pH).</li> </ul>
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación y adsorción.</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada).</li> </ul>
Contaminantes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorción por el biofilm y partículas de arena.</li> <li>• Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas del suelo (no calculable)</li> </ul>

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial realizan procesos de remoción de algunos contaminantes como se muestra en la Tabla V. [12]

## Diseño de humedal artificial de flujo subsuperficial

### Determinación del caudal

En la tabla VI se observan los valores para tiempo de 24 horas (columna 1), caudales correspondientes de cada hora en la finca El Recreo (columna 2) y los caudales acumulados (columna 4). Para el cálculo del flujo acumulado se realizó la siguiente (1).

Tabla No. 7. Cálculo del volumen de igualamiento

Periodo (Unidades)	Caudal (L/s)	Flujo acumulado (L)	Caudal promedio (L/s)
0-1	0,000	0,000	0,000
1-2	0,000	0,000	40,680
2-3	0,000	0,000	81,360
3-4	0,000	0,000	122,040
4-5	0,000	0,000	162,720
5-6	0,008	29,630	203,400
6-7	0,012	71,883	244,080
7-8	0,007	98,344	284,760
8-9	0,009	130,273	325,440
9-10	0,013	178,114	366,120
10-11	0,007	201,682	406,800
11-12	0,003	211,682	447,480
12-13	0,060	427,898	488,160
13-14	0,022	506,586	528,840
14-15	0,002	514,086	569,520
15-16	0,016	572,623	610,200
16-17	0,008	602,560	650,880
17-18	0,006	624,150	691,560
18-19	0,014	674,854	732,240
19-20	0,061	893,036	772,920

Periodo (Unidades)	Caudal (L/s)	Flujo acumulado (L)	Caudal promedio (L/s)
20-21	0,022	972,770	813,600
21-22	0,000	972,770	854,280
22-23	0,000	972,770	894,960
23-24	0,000	972,770	935,640
Promedio 0,0113			

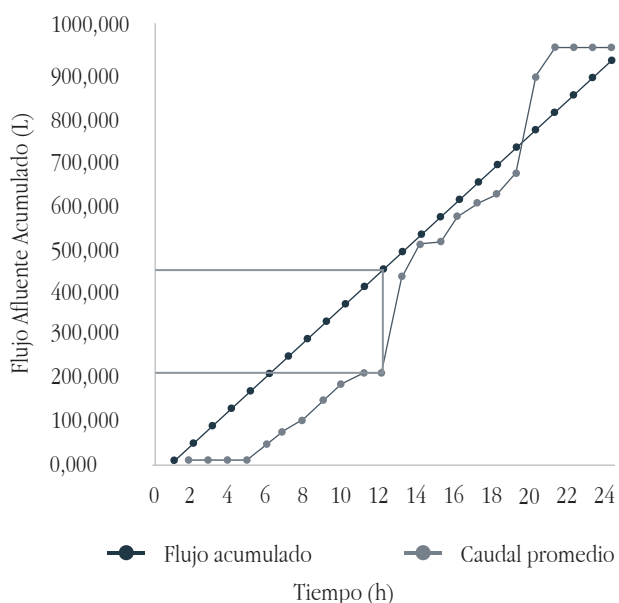
De acuerdo a los resultados del flujo acumulado, caudal promedio y tiempo, se llevó a cabo la determinación del volumen de igualamiento, donde se obtuvo el volumen del punto máximo 160 L y punto mínimo 240 L, la suma de estos dos datos es el resultado del volumen total para el humedal de flujo subsuperficial horizontal que corresponde a 400L, según el diagrama I.

$$Flujoacumulado = (caudal * 3600) + (Flujoacumuladon_{n-1}) \tag{3}$$

### Parámetros de Diseño

La superficie del humedal artificial se calculó teniendo en cuenta la relación entre longitud y anchura, obteniendo como resultado 156,25 m, que al aplicarle raíz cuadrada resulta un área de 12,5 m x 12,5 m.

Figura 2. Diagrama I: diagrama de masa para la determinación del volumen de igualamiento





El humedal tendrá 0,53 m de sección transversal, se le deberá dar una pendiente de 0,8% de inclinación de la entrada a la salida para lograr un buen drenaje y en cuanto a las filtraciones al suelo será necesario el uso de la arcilla como impermeabilizante en todo el fondo y las paredes de la sección.

**Tabla 8.** Valores determinantes para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Dimensiones	Unidad	Valor
Superficie	m <sup>2</sup>	156,25
Sección transversal	m	0,53
Carga hidráulica	cm/día	45,030
Tiempo de retención	día	5

### Carga hidráulica

La carga hidráulica total se relaciona con la DBO<sub>5</sub> del afluente y la DBO<sub>5</sub> del efluente. El valor obtenido de carga hidráulica nos indica las necesidades del agua a tratar y por tanto es una guía para definir las superficies mínimas del humedal artificial [3]

### Sustrato

El sustrato escogido se dispondrá en toda el área transversal, en un orden secuencial de 5 capas empezando en la base del humedal y terminando en la superficie, por medio de estas Verificar la edición del documento, dado que se modificó su diagramación. capas se filtrará y retendrá el agua permitiendo tratar a los vertimientos generados en la finca El Recreo.

En la tabla II es posible encontrar los tamaños correspondientes a la grava y la arena seleccionados para la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial.

### Vegetación

La vegetación seleccionada para la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es la planta control *Heliconia psittacorum*, lo cual es un medio convencional para el funcionamiento de filtro biológico en el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la finca el Recreo en Tauramena, Casanare.

La *Heliconia psittacorum* se clasifica como emergente, ya que crece en zonas húmedas, aunque la profundidad del agua permite anclarse y emerger el sistema de vástagos por encima de la superficie del agua [10]; son especies neotropicales, donde Colombia ocupa el primer lugar en diversidad de Heliconias en el mundo, siendo nativa de la zona, además son de forma biológica herbáceas, con rizomas (brotes o hijuelos) de rápido crecimiento [11], presenta características positivas con base a problemas fitosanitarias, meteorológicos y edáficos, pues son las mejores adaptadas al territorio [3] y estéticamente no desentona con el medio ambiente, tienen gran aporte en el aspecto paisajístico lo que les da un gran potencial ambiental y económico, por último la macrófita *Heliconia psittacorum* se plantará entre la segunda y tercera capa de grava media y arena fina.

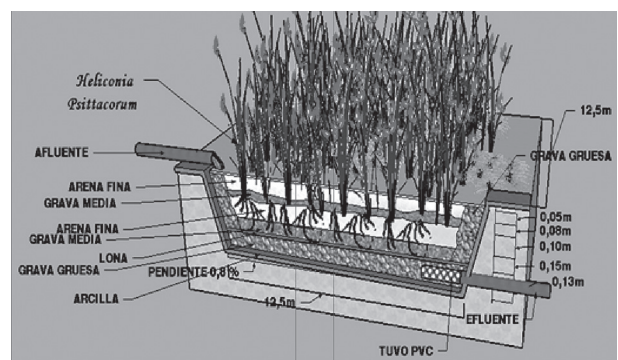
### Las estructuras de entrada y salida del humedal

Las estructuras serán tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 1,5 pulgadas en forma de T, con orificios en toda su superficie permitiendo una mejor distribución del agua en el momento de la entrada y una mayor captación de agua tratada al momento de la salida.

### Dimensiones

El dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es posible observarlo en la figura II. En esta figura es posible visualizar el grosor capa por capa del sustrato y su orden, las capas empiezan por el material impermeabilizante y termina en las macrófita, la pendiente y los valores del ancho, largo y profundidad que debe tener exactamente el humedal.

**Figura 3.** Vista en 3D del humedal artificial



Se determinó las características de la calidad del agua generados en la finca El Recreo, arrojando resultados que sobrepasaron los valores máximos permisibles para vertimientos en fuentes hídricas en Colombia incumplimiento con el numeral 9, artículo 24 del Decreto 3930 del 2010 (prohibición de vertimientos). Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico, indican una disminución de los contaminantes en el paso del agua a través del humedal artificial. Luego del tratamiento en las dos pruebas piloto, los parámetros como pH, DQO, sólidos sedimentables, grasas y aceites, temperatura, no sobrepasan los límites máximos permisibles, sin embargo, a pesar de que presentaron disminución en los valores, los sólidos suspendidos y la DBO5 si se encuentran por encima de estos límites establecidos. Los demás parámetros como nitritos, dureza total, alcalinidad y salinidad no presentaron reducciones en sus valores.

Fue positiva la eficacia de las macrófitas seleccionadas en la investigación ya que tuvieron una capacidad de remoción de contaminantes mayores al 70%, presentándose que la planta control *Heliconia psittacorum* tuvo mayor porcentaje de remoción en comparación que la macrófita experimental *Bambusa sp.*

Los humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial al seguir los parámetros de diseño y en las condiciones óptimas en el mantenimiento para operar, que mejoran las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales, resultando ser una alternativa de tratamiento biológico con un alto porcentaje de eficiencia en cuanto a la remoción de contaminantes.

Es necesario implementar previamente un tratamiento primario (trampa de grasas), con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento para prevenir en el largo plazo problemas de colmatación, además de mejorar la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

## Agradecimientos

A Dios por permitirnos llegar a este momento tan importante en nuestras vidas, culminando satisfactoriamente esta etapa esencial en el proceso de formación de cada una de nosotras.

A la Universidad El Bosque y la facultad de Ingeniería por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

A nuestra directora de trabajo de grado Carel Elizabeth Carvajal Arias por el tiempo, las observaciones y los conocimientos que compartió con nosotras.

## Referencias

- [1] OMS, «Guías para la calidad del agua potable,» Organización Mundial de la Salud, Suiza, 2006.
- [2] J. A. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013.
- [3] M. Seoáñez Calvo, Aguas Residuales: Tratamientos por humedales artificiales, Madrid, España: Mundi-Prensa, 1999.
- [4] Twenergy, «Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y la sostenibilidad,» 2014.
- [5] Villazón, Suarez, Cufino y Ronderos, «La Infancia, El Agua Y El Saneamiento Básico En Los Planes De Desarrollo Departamentales Y Municipales,» Procuraduría , Bogotá D.C, Colombia, 2006.
- [6] A. d. Tauramena, «Alcaldía de Tauramena, Casanare,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.tauramena-casanare.gov.co/mapas\\_municipio.shtml](http://www.tauramena-casanare.gov.co/mapas_municipio.shtml). [Último acceso: 28 11 2016].
- [7] J. P. Marín Montoya y J. C. Correa Ramírez, «Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua angustifolia kunth,» Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, 2010.
- [8] L. P. Gilón, «Remoción de contaminantes en la estabilización de humedales construidos de flujo vertical, sembrado con Heliconia (sp), para el tratamiento de aguas residuales domésticas.,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2014.
- [9] MADS, «Resolución 0631 de 2015,» República de Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogota

- [10] R. Blanco Dolmus, «Utilización de plantas acuáticas en laguna de tratamiento de aguas residuales “El Cocal” Leon,» Nicaragua, 2006.
- [11] E. Jerez, El cultivo de las heliconias. Cultivos Tropicales., 2007.
- [12] Hoffmann, H., Platzer, C., Muench, E., & Winker, M. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Eschborn, Alemania: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN.

---

## Las Autoras



### Carel Elizabeth Carvajal Arias

---

Microbióloga Industrial, Microbióloga Agrícola y Veterinaria y Magister en Ciencias Biológicas, de la Pontificia Universidad Javeriana. Miembro del grupo de investigación Choc Izone de la Facultad de Ingeniería. Docente líder del semillero de Calidad del Agua y Ecología Microbiana del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad El Bosque.



### Paola Ortiz

---

Graduada del Colegio Cofrem en la ciudad de Villavicencio en el año 2010, ingreso a ser parte de la Universidad El Bosque en la ciudad de Bogotá en el año 2011 y culmino sus estudios en ingeniería ambiental en el año 2017.



### Angy Lariza Vega Beltran

---

Graduada del Colegio Del Rosario Campestre en la ciudad de Bogotá en el año 2009, Ingeniera Ambiental de la Universidad El Bosque en el año 2017.

