

# **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN PROTOTIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROVENIENTES DE UN POZO SÉPTICO**

*Gina Marcela Quintana Tibaduiza*

*Semillero de Gestión de Recursos Hídricos (SIGERH)*

*Universidad Antonio Nariño, Programa Ingeniería Ambiental*

*Duitama- Colombia*

E-mail: [gquintana76@uan.edu.co](mailto:gquintana76@uan.edu.co)

## **Resumen**

En este trabajo de investigación se realizó la parametrización, construcción y puesta en marcha de un humedal artificial. Con el fin de dar tratamiento a aguas residuales domésticas provenientes de pozos sépticos. Dado que, el mal manejo de estos residuos domésticos representa un riesgo sanitario y microbiológico para las comunidades rurales que no cuentan con sistema de alcantarillado. Según la OMS esto representa un riesgo para la salud pública y según la FAO se incrementa la amenaza de contaminación cruzada hacia los alimentos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de estas poblaciones. Por lo que este tipo de sistemas de bajo costo y de fácil implementación, resultan ser una alternativa viable para las familias de bajos recursos de las zonas rurales del departamento de Boyacá. Ya que les permite hacer un pretratamiento de las aguas residuales antes de ser dispuestas en afluentes o suelos fértiles cultivables. Los resultados de este trabajo así lo demuestran. Ya que, los valores para los parámetros fisicoquímicos como DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y color real son mejores que los permitidos por la resolución 631 de 2015. Adicionalmente, el análisis microbiológico muestra una eficiencia del 99.99% en la eliminación de microorganismos patógenos al efectuar el tratamiento con el humedal artificial.

## **Abstract**

In this research work, the parameterization, construction and commissioning of an artificial wetland were carried out. In order to treat domestic wastewater from septic tanks. Since, the poor management of this domestic waste represents a sanitary and microbiological risk for rural communities that do not have a sewage system. According to the WHO, this represents a risk to public health and, according to the FAO, the threat of cross-contamination to food increases, putting the food safety of these populations at risk. Therefore, this type of low-cost and easy-to-implement system turns out to be a viable alternative for low-income families in rural areas of the department of Boyacá. Since it allows them to pre-treat wastewater before being disposed of in tributaries or fertile cultivable soils. The results of this work demonstrate this. Since, the values for the physicochemical parameters such as BOD<sub>5</sub>, COD, TSS and real color are better than those allowed by resolution 631 of 2015. Additionally, the microbiological analysis shows an efficiency of 99.99% in the elimination of pathogenic microorganisms when carrying out the artificial wetland treatment.

## 1. Introducción

El saneamiento básico es un conjunto de procesos que permiten eliminar de manera eficiente los residuos generados por el hombre, es importante en el bienestar y el desarrollo de los territorios y las comunidades que los habitan, la deficiencia en estos procesos genera enfermedades de salud pública como EDA (enfermedad diarreica aguda), cólera, fiebre tifoidea, disentería, entre otras, asociadas a la muerte de miles de niños y adultos mayores en el mundo. Para el año 2020, el 45% de las aguas residuales producidas fueron vertidas a las fuentes de agua superficiales sin ningún tratamiento previo, por otra parte, aproximadamente el 10% de la población consume alimentos que fueron regados con aguas residuales y tan solo el 54% de la población utiliza un servicio de saneamiento seguro (OMS, 2022). Por tal razón, se hace necesario la búsqueda de alternativas sustentables y económicas que permitan mitigar estos impactos, especialmente en zonas que carecen de sistemas de alcantarillado eficientes y no poseen los recursos económicos necesarios para una óptima disposición de las aguas residuales domésticas.

En el título J del Reglamento de Agua y Saneamiento –RAS 2017, se encuentran establecidas las alternativas de saneamiento en cuanto a tecnologías a ser usadas en el sector rural, siendo el sistema séptico la opción más común para nuestro país, sin embargo, para que sea eficiente y seguro, se requiere de condiciones específicas, como el tratamiento del efluente generado con el propósito de disminuir la carga microbiana y mejorar los parámetros físicos y químicos del agua residual. Dichos tratamientos tienden a generar altos costos de instalación y mantenimiento, que los hacen poco alcanzables en una comunidad rural de recursos escasos y con poco apoyo de instituciones del estado.

Es así que nace la necesidad de buscar alternativas sustentables que permitan obtener resultados positivos que sean amigables con el ambiente y los ecosistemas, siendo la opción más pertinente el uso de humedales artificiales (Gómez, 2006) los cuales, a partir del aprovechamiento de recursos naturales, se convierten en un filtro compuesto por material de extracción del suelo y especies de macrófitas que permiten absorber y retener las partículas contaminantes del agua residual mejorando considerablemente la calidad del agua. Para ello se desarrolló un prototipo de humedal artificial a escala de laboratorio que permitiera evaluar su efectividad in situ, desarrollando una metodología específica centrada en cuatro fases principales, la inicial de investigación y análisis de la información con la ayuda de las bases de datos de la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño y de recursos digitales; la segunda comprende la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales y la construcción de un prototipo en el campus universitario; la tercera se basa en la evaluación y seguimiento de variables mediante análisis de laboratorio de DBO<sub>5</sub>, SST, pH, temperatura, turbidez, entre otros, y en la última fase, a partir de los resultados obtenidos analizar y evaluar el porcentaje de eficiencia alcanzado.

## 2. Metodología

A continuación, se presentan las fases para realizar la elaboración de un prototipo de humedal artificial basado en la muestra de agua residual tomada de un pozo séptico de una vivienda unifamiliar en el municipio de Gámeza en la cual habitan dos personas.

Fase 1: Análisis de información de estudios existentes para el diseño y construcción del prototipo de humedal artificial de tipo subsuperficial

- Investigar información verídica en plataformas digitales como scopus, biblioteca UAN para adquirir proyectos, artículos, monografías, relacionados con los parámetros de diseños de Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Fase 2: Caracterizar la muestra de agua residual proveniente del pozo séptico de la vivienda unifamiliar ubicada en el municipio de Gámeza e iniciar construcción del prototipo

- Muestreo puntual de agua residual proveniente de pozo séptico en el municipio de Gameza.
- Caracterización inicial del agua residual a nivel físico, químico y microbiológico en el laboratorio de ciencias básicas.
- Comparación inicial de los resultados obtenidos con respecto a la Resolución 631 de 2015
- Realizar el diseño, construcción y montaje del humedal artificial de flujo subsuperficial
- Determinar y selección de las especies de macrófitas a plantar, las cuales se tomarán de humedales naturales del municipio de Duitama o lugares cercanos

Fase 3: Observar y Monitorear el comportamiento de variables indicadoras DBO5, sólidos suspendidos totales (SST), Temperatura, Conductividad, pH, Oxígeno Disuelto y Análisis microbiológico

- Estabilizar el humedal artificial durante dos semanas a través de alimentación con agua residual
- Realizar 3 campañas de muestreo y monitoreo para observar el comportamiento de los parámetros físicos del agua tanto en el afluente como en el efluente

Fase 4: Evaluar la eficiencia del prototipo del humedal artificial a través de la eliminación de las variables indicadoras.

- Analizar los datos obtenidos y el comportamiento de las variables para cada muestra, demostrando su eficiencia.

## 2.1 Parámetros físico químicos

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en el agua proveniente del pozo séptico, son los recomendados por la Resolución 631 de 2015 que establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (Ministerio de ambiente, 2015)

Parámetro	Unidades	VALORES	
		PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015	Método de análisis usado
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	Se usó un pH, marca APERA INSTRUMENTS PH400 Portable Ph Meter. Con certificado de calibración vigente.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	180,00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O <sub>2</sub>	90,00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 5210 B, SM 4500 D
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90.00	Se realizó análisis en laboratorio certificado Método: SM 2540 D
Color real	Nm	Análisis y reporte	Colorímetro color of wáter HI97727 marca HANNA Intruments. Con certificado de calibración vigente.

## 2.2 Otros parámetros fisicoquímicos a considerar

Parámetro	unidades	VALORES PERMISIBLES	
		RESOLUCIÓN 631 DE 2015	Método de analisis usado
Turbidez	unidad nefelométrica	No especificado en la	Medidor conforme a la
	de turbidez (NTU)	norma	EPA de la turbidez/Cloro HI93414-01 HANNA instruments
Oxígeno disuelto	% de saturación	No especificado en la	Medidor de Oxígeno
		norma	Disuelto HI9146-04 HANNA instruments

## 2.3 Parámetros microbiológicos

los parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ard y arnd) a cuerpos de aguas superficiales. Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termo tolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5 (Ministerio de ambiente, 2015). Dado que la norma no contempla la caracterización de microorganismos patógenos como *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae* y *Escherichia coli*. Se ve la necesidad de identificar estos microorganismos patógenos ya que el agua de los pozos sépticos es vertida a suelos o a fuentes hídricas que posteriormente son usados para el la siembra y riego de alimentos respectivamente, contaminado así los alimentos con los que tengan contacto.

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Unidad de medición	Valor aceptado según la OMS.
<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Agar MacConkey, Agar Salmonella Shigella, Agar Bile Esculina</i>	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	U.F.C/ml	No permitido
<i>Shigella dysenteriae</i>	<i>Agar MacConkey, Agar Salmonella Shigella, Agar Bile Esculina</i>	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	U.F.C/ml	No permitido
<i>Escherichia coli</i>	<i>Agar MacConkey, EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina</i>	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	U.F.C/ml	No permitido

### 3. Análisis y Resultados

Se efectuó una caracterización inicial del agua residual, para determinar la carga contaminante de la agua tratada, seleccionar el método de tratamiento correcto y aplicar los criterios de diseño adecuados

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015
PH	7,81	Unidades de pH	PH –METRO	6,0 A 9,0
DQO	536	mg/l	REFLUJO CERRADO COLORIMÉTRICO	180
TEMPERATURA	20	°C	TERMÓMETRO	
DBO5	287	mg/l	INCUBACION 5 DIAS	90
SST	416	mg/l	GRAVIMÉTRICO	90
OXÍGENO DISUELTO	33,3	% saturación	MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO	
COLOR APARENTE	500	PCU	COLORÍMETRO	
TURBIDEZ	120	NTU	TURBIDÍMETRO	

#### 3.1 Caracterización microbiológica del agua residual domestica

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Resultado
<i>Salmonella typhimurium</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1x10 <sup>6</sup> U.F.C/ml
<i>Shigella dysenteriae</i>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1x10 <sup>6</sup> U.F.C/ml
<i>Escherichia coli</i>	EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para todas las diluciones Valor: > 1x10 <sup>6</sup> U.F.C/ml

#### 3.2 Caracterización de agua tratada en el humedal artificial

PARÁMETRO	M 1	M 2	M 3	UNIDADES	TÉCNICA	VALORES PERMISIBLES RESOLUCIÓN 631 DE 2015
PH	7,81	8,34	8,05	Unidades de pH	PH –METRO	6,0 A 9,0
DQO	536			mg/l	REFLUJO CERRADO COLORIMÉTRICO	180
TEMPERATURA	20	20,6	21,8	°C	TERMÓMETRO	
DBO5	287			mg/l	INCUBACION 5 DIAS	90
SST				mg/l	GRAVIMÉTRICO	90
OXÍGENO DISUELTO	33,3	70	70,02	% saturación	MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO	

<b>COLOR APARENTE</b>	500	116	88	PCU	COLORÍMETRO
<b>TURBIDEZ</b>	120	7,6	2,2	NTU	TURBIDÍMETRO

### 3.2 Caracterización microbiológica de agua tratada en el humedal artificial

#### Primer seguimiento

Microorganismo a identificar	Medio de cultivo	Método de detección	Resultado
<b>Salmonella typhimurium</b>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positiva para disolución 1:10 Valor: 10 U.F.C/ml
<b>Shigella dysenteriae</b>	Agar Salmonella Shigella, , Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para disolución 1:10 Valor: 10 U.F.C/ml
<b>Escherichia coli</b>	EMB Agar, Levine, Agar Bile Esculina	Prueba bioquímica por conteo de unidades formadoras de colonias con diluciones 1:10; 1:100; 1:1000 y 1:10000	Positivo para disolución 1:10 Valor: 60 U.F.C/ml

## 4 Conclusiones

Como resultado del proyecto efectuado en el municipio de Gameza, Boyacá se puede concluir que en un mes el prototipo de humedal artificial, diseñado, construido y evaluado es óptimo en cuanto a la remoción de contaminantes de acuerdo a los resultados obtenidos para los siete parámetros analizados

Apartir de los resultados generales obtenidos en este estudio se puede decir que los humedales artificiales son una alternativa viable para la descontaminación de aguas residuales domesticas es económico y se puede implementar fácilmente en zonas rurales de Colombia.

El humedal evaluado cumple con las características necesarias para realizar una correcta depuración del agua residual domestica está siendo tratada, demostrando una alta eficiencia ya que cada vez que se recirculaba se observaban grandes cambios en el cuerpo hídrico



## Referencias

- Cárdenas, G., Sánchez, I., Maya, J. y Solarte, A. (2015). Remoción de sólidos en aguas residuales de producción intensiva de trucha en un sistema de recirculación cerrado. (2015). *Revista UNIMAR*, 33(1), 229-236
- Correal, C. R. (2002). Tratamiento y postratamiento de aguas residuales. Tunja: Corporación Universitaria de Boyacá.
- Borz, A., Troya, M., Villalta, S., Medina, C., Guerrero, G., Yaulema, F., & Gavilanes, A. (2018). Diseño y construcción de un prototipo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos del río Ramiyacu, provincia de Orellana, parroquia Taracoa. II Congreso Internacional de Ciencias Ambientales, 1-8.
- Delgadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera.
- Oteng, M., Agbesi, M. y de Vries, N. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water Air Soil Pollut*, 229(255), 1-16. doi:10.1007/s11270-018-3909-8
- Paz, N., Blanco, E., Gutiérrez, E., Núñez, M., & Caldera, Y. (2012). Uso de humedales construidos de tipo superficial a escala piloto para la remoción de sulfuros y fenoles de agua de producción de petróleo. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 071-079
- Reyes, J. (2016). Formulación y diseño de un sistema de fitorremediación para tratamientos de aguas hidrocarbурadas en estaciones de servicio Biomax. (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- Alex Díaz, C., Víctor Atencio, G., & Sandra Pardo, C. (2014). Assessment of an artificial free-flow wetland system with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for treating fish farming effluents. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(3), 202–210.
- Bekkari, N. E., Amiri, K., & Hadjoudj, M. (2022). Performance of pilot scale constructed wetland as ecological practice for domestic wastewater treatment in an arid climate - Algeria. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 86(4), 787–799. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.242>
- Campo-Daza, G., Oviedo-Zumaqué, L. E., & Torres-Bejarano, F. (2022). Efficiency assessment of constructed wetlands for fuel contaminated water treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 77, 10973–10984. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03901-2>
- Conservation, G. S. for P. (2002). *The Plant List*. 2002. <http://www.theplantlist.org/tpl/search?q=Juncus+effusus>
- Dal Ferro, N., De Mattia, C., Gandini, M. A., Maucieri, C., Stevanato, P., Squartini, A., & Borin, M. (2021). Green walls to treat kitchen greywater in urban areas: Performance from a pilot-scale experiment. *Science of the Total Environment*, 757, 144189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144189>
- Khan, R. A., Khan, N. A., El Morabet, R., Alsubih, M., Khan, A. R., Khan, S., Mubashir, M., Balakrishnan, D., & Khoo, K. S. (2022). Comparison of constructed wetland performance coupled with aeration and tubessettler for pharmaceutical compound removal from hospital wastewater. *Environmental Research*, 216(P1), 114437. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114437>
- Ministerio de ambiente. (2015). Resolución 631 De 2015. *Diario Oficial No. 49.486 de 18 de Abril de 2015, RESOLUCIÓN*(Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. EL), 73.

- Muduli, M., Choudhary, M., Haldar, S., & Ray, S. (2022). Monitoring and assessment of Dracaena-based constructed vertical flow wetlands treating textile dye wastewater. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10415-y>
- Xie, P., Zahoor, F., Iqbal, S. S., Zahoor, Ullah, S., Noman, M., Din, Z. U., & Yang, W. (2022). Elimination of toxic heavy metals from industrial polluted water by using hydrophytes. *Journal of Cleaner Production*, 352(April), 131358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131358>
- Zhang, D., Han, W., Yan, C., Wang, D., Liang, J., & Zhou, L. (2022). Treatment of swine wastewater using multi-soil-layer based constructed wetland: Substrates assessment and efficiency improvement. *Biochemical Engineering Journal*, 188(October), 108679. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108679>