



EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES

EVALUATION OF AN ARTIFICIAL WETLAND IN THE AGROINDUSTRIAL RESIDUAL WATER TREATMENT



Autor: Castillo Núñez Mayerling Carolina

Correo: nmayerlingc@gmail.com

Ingeniero Químico

Msc. en Ingeniería Química

Estudiante (Doctorado en Ambiente y Desarrollo) VPDS UNELLEZ Barinas

Teléfono contacto: +58 424 5608839

Recibido: 30/04/2022 Aprobado: 15/06/2022

RESUMEN

El objetivo de la investigación es evaluar un humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. La metodología se enmarca en la modalidad cuantitativa apoyada en el estudio de campo de nivel descriptivo y transversal, donde se aplicó observación de campo y análisis físicos, bacteriológicos y químicos a la descarga de aguas residuales de un matadero ubicado en el Estado Barinas, Venezuela y se evalúa comparativamente su desempeño en función de la normativa sanitaria y ambiental. Se determinó que la infraestructura existente para el manejo de las aguas residuales consiste en siete (07) tanquillas que recogen los afluentes provenientes de la matanza y que son conducidos a un humedal artificial con un área de 11054 m² y de profundidad variable. Se determinaron los parámetros físicos y químicos de calidad de agua y se comprobó que se encuentran en general, muy por debajo de los límites máximos establecidos en la normativa legal. Se concluye que el humedal artificial, exhibe ventajas operativas para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales, no requiere equipos mecánicos, ni eléctricos, además de cumplir con los límites de los parámetros físicos y químicos establecidos en el marco legal vigente.

Palabras clave: Parámetros, Físicos, Químicos, Bacteriológicos, Agroindustrial.

EVALUATION OF AN ARTIFICIAL WETLAND IN THE AGROINDUSTRIAL RESIDUAL WATER TREATMENT



ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate an artificial wetland in the treatment of agro-industrial wastewater. The methodology is quantitative modality supported by a descriptive and cross-level field study, where field observation and physical, bacteriological and chemical analyzes are applied to the discharge of residual water from a deadly mine in the Barinas State, Venezuela and evacuate comparatively low in terms of sanitary and environmental regulations. It has been determined that the existing infrastructure for the management of residual water consists of seven (07) tanks that recycle the effluents y which are led to an artificial wetland with an area of 11054 m² of variable depth. The physical and chemicals parameters were determined of water quality and have been proven to be in general, due to the violation of the maximum limits established in the legal norm. Conclusions are artificial wetlands, exhibit operational advantages for the treatment of agroindustrial wastewater; do not require mechanical, electrical equipment, in addition to meeting the limits of the physical and chemical parameters established in the current legal framework.

Key words: Parameters, Physical, Chemical, Bacteriological, Agroindustrial.

EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son el resultado de la actividad antropogénica en el ámbito doméstico, comercial e industrial; y requieren para ser dispuestas al ambiente, estar tratadas preliminarmente. El uso de procedimientos biológicos para limpiar suelo y agua contaminada (biorremediación) ha recibido especial atención, por ser de bajo costo y ambientalmente amigable, comparado con los procedimientos químicos y físicos (Ferrera, Rojas, Poggi, Alarcón, Cañizales, 2006).

Es así, como Ome y Zafra (2018) explican que la biorremediación ha demostrado ser una alternativa para establecer nuevos sistemas de depuración de aguas residuales y optimizar los sistemas convencionales existentes. Al respecto, Wang C., Zheng, Wang P y Qian (2014) reportaron la fitorremediación como una tecnología potencial de biorremediación, donde plantas



especializadas fueron capaces de absorber, almacenar o metabolizar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Con estas premisas, se ha reportado que el contenido de materia orgánica en términos de la DBO₅, oxígeno disuelto, temperatura, pH, nitrógeno y fósforo son los principales factores determinantes de estas tecnologías de fitorremediación (Ome y Zafra, 2018). Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente, donde la contaminación es poco profunda y no es muy grande (EPA, 1996).

Claramente lo describen, Cortés y Flórez (2017) explican que de acuerdo con el tipo de contaminante y las condiciones del área acuática, los procesos involucrados en la fitorremediación para la contención son a través de la rizofiltración, la fitoestabilización y fitoinmovilización; o como medio de eliminación a través de la fitodegradación, la fitoextracción y la fitovolatilización. De allí, Nuñez, Meas, Ortega y Olgún (2004), señalan que para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características: a) Ser tolerantes a altas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, b) Ser acumuladoras, c) Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad, d) Ser especies locales, representativas de la comunidad natural y e) Ser fácilmente cosechables.

Sin embargo, esta técnica puede mostrar limitantes para su aplicación, como que el contaminante este más allá de la profundidad radical de la planta empleada, y/o cuando ejerce efectos fitotoxicológicos en esta. Otro aspecto restrictivo, es lo concerniente a la incertidumbre del período que tarda el proceso. Bajo estos planteamientos, entre los sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan la fitorremediación destacan los humedales artificiales. Para Diez y Enciso (2019) son una alternativa biotecnológica, sustentable, de bajo costos de instalación y mantenimiento, paisajística, que contribuye a disminuir la erosión del suelo y a la biodiversidad. Para Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009), los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento.



Al respecto, Arias, Betancur, Gómez, Salazar y Hernández (2010) reportan que en los humedales artificiales ocurren procesos físicos, químicos y biológicos, al interactuar entre sí el agua, el medio filtrante, las plantas, los microorganismos y la atmósfera. Por ello, ocurre la remoción de sólidos suspendidos por sedimentación y filtración, la biodegradación de la materia orgánica a partir de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos y a la eliminación de microorganismos patógenos por sedimentación, filtración y la acción depredadora de otros organismos, además de la remoción de metales pesados por precipitación y absorción, y una disminución de los hidróxidos y sulfuros.

Enmarcado en lo expuesto, se evalúa un humedal artificial ubicado en el estado Barinas, Venezuela, diseñado para el manejo de las aguas residuales que se generan en un matadero. La capacidad instalada de esta agroindustria es de 300res/día. Entre las principales fuentes de contaminación orgánica producida por los mataderos, cuyos efluentes líquidos presentan concentraciones muy altas especialmente de materia orgánica, grasas, sólido y coli-fecales y su impacto sobre las redes cloacales se hacen más notorios en poblaciones medianas y pequeñas (Castillo y otros, 2018).

En este particular, la contaminación del agua producida por mataderos explican Dupin y otros (2018), es debido a las heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y del vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos y de la intensidad de la limpieza de los canales, entre otros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El humedal artificial está ubicado en el estado Barinas, Venezuela en las coordenadas 949900 N 355403 E, diseñado para el manejo de las aguas residuales que se generan en esta agroindustria. Las técnicas principales para la recolección de datos de este estudio son observación de campo (diario de campo), la revisión de la información documental, y el análisis de calidad del agua en el sitio de descarga del afluente en el punto más alejado del sistema de tratamiento.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

En relación a los resultados obtenidos para en primer lugar; Describir las condiciones existentes para el manejo de los afluentes líquidos en el matadero se presentan a continuación. Dentro de la infraestructura existente para el manejo de las aguas residuales se encuentra un sistema de alcantarillas y siete tanquillas, las cuales conducen las aguas residuales que entran al humedal construido, principalmente se reconoce el pasto pará (*Brachiaria mutica*) de fácil adaptación en zonas húmedas y suelos inundables. El humedal abarca un área de 11054 m². Su lecho está cubierto con piedras grandes de 15 a 20 cm de diámetro y luego una capa de granzón muy fino, se asegura la distribución homogénea de las aguas residuales desde el comienzo del recorrido mediante gravedad. Las aguas residuales son conducidas mediante tuberías de 8” de PVC a la zona de entrada de manera superficial.

En este orden, la profundidad de la zona de entrada es de 1m y en la zona de salida es de 3 m, a lo largo del sistema es donde ocurre el proceso de depuración e infiltración de aguas residuales, mediante la acción del complejo formado por plantas, bacterias y piedras. La forma del humedal se encuentra construido de manera tal que el agua fluya concentrándose en la zona de salida. La salida del humedal finaliza con infiltración al terreno. Se determinó que la biorremediación es realizada por el pasto pará (*Brachiaria mutica*) de fácil adaptación en zonas húmedas y suelos inundables. Para Determinar la calidad del agua residual que se descarga, se realizó la determinación de los parámetros físicos, bacteriológicos y químicos en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua (UNELLEZ-Barinas), los cuales se reportan en el Cuadro 1, 2 y 3 respectivamente.

Cuadro 1. Parámetros físicos del efluente (en el punto más lejos de la descarga).

Parámetros	Resultados (mg/L)	Límites Máximos (Decreto N° 883-Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo)
Temperatura (°C)	29.9	SLE (1)
Turbiedad (UNT)	60.9	SLE (1)
Sólidos sedimentables (mL/L)	0.2	1.0 mL/L (2)
Sólidos flotantes	A	Ausencia
Sólidos disueltos totales	40.5	SLE (1)
Sólidos suspendidos totales	39	80mg/L -400 mg/L (2)

(1) Abreviatura SLE Sin Límite Establecido.



(2) Límite establecido para descargar en cuerpos de agua.

Cuadro 2. Parámetros bacteriológicos del efluente (En el punto más lejos de la descarga).

Parámetros	Resultados (mg/L)	Límites Máximos (Decreto N° 883-Minsiterio del Poder Popular para el Ecosocialismo)
Coliformes totales	>2 419.6	<1000
Coliformes fecales	>1 299.7	SLE (1)

Cuadro 3. Parámetros químicos del efluente (En el punto más lejos de la descarga).

Parámetros	Resultados (mg/L)	Límites Máximos (Decreto N° 883-Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo)
Aceites minerales hidrocarburos ^e	1.6	20 mg/L (1)
Aceites y grasas totales	48.2	SLE (2)
Aluminio total	0.00	5.0 mg/L (1)
Bario total	10	5.0 mg/L (1)
Cadmio total	0.009	0.2 mg/L (1)
Cianuro total	0.007	0.2 mg/L (1)

Cuadro 3. Continuación.

Cloro residual	0.06	SLE (2)
Cloruros	12.5	1 000 mg/L (1)
Cobalto total	0.12	0.5 mg/L (1)
Cobre total	0.00	1.0 mg/L (1)
Color real (UC Pt/Co)	136	500 UC Pt/Co (1)
Conductividad (µS/cm)	86	SLE (2)
Cromototal	0.008	2 mg/L (1)
DBO _{5,20°}	7.65	60 mg/L (1)
DQO	16	350 mg/L (1)
Detergentes	1 410	2.0 mg/L (1)
Espuma	A	Ausencia (1)
Fenoles	0.000	0.5 mg/L (1)
Fluoruros	0.06	5.0 mg/L (1)
Fósforo total (expresado como fosforo)	0.02	10.0 mg/L (1)
Hierro total	0.63	10.0 mg/L (1)
Manganeso total	0.7	2.0 mg/L (1)
Nitratos (expresado como Nitrógeno)	3.4	10.0 mg/L (Nitratos + Nitritos) (1)
Nitritos (expresado como	0.232	10.0 mg/L (Nitratos + Nitritos) (1)



Nitrógeno)		(1)
Nitrógeno total (expresado como	8.0	40.0 mg/L (1)
Nitrógeno)		
pH	6.56	6 – 9 (1)
Plomo total	0.019	0.5 mg/L (1)
Salinidad (%)	0.04	SLE (2)
Selenio	0.00	0.05 mg/L (1)
Sulfatos	3.00	1 000.0 mg/L (1)
Sulfuros	63	0.5 mg/L (1)
Zinc	0.28	5.0 mg/L (1)

(1) Límite establecido para descargar en cuerpos de agua.

(2) SLE Abreviatura Sin Límite Establecido.

DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se reporta la Temperatura (°C); este parámetro se encuentra dentro del rango normal (de 25 – 30 ° C), es una medida de la intensidad de calor de un vertido líquido. Su influencia es notoria en la solubilidad de algunas sustancias y gases en el agua. Tiene gran importancia dada su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y sus velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos. En cuanto a la turbiedad, es una medida de la dispersión de la luz, y mide indirectamente el contenido de sólidos disueltos en el efluente, así como la calidad del agua tratada.

Uno de los objetivos del tratamiento es la remoción de sólidos, comprenden los disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos (dispersión homogénea, molecular o iónica de 1×10^{-3} a 2×10^{-4} micras de diámetro) pueden ser parcialmente removidos o transformados, mediante la acción biológica de microorganismos que los utilizan como substratos solubles en su mecanismo metabólico. Estos aumentan la turbiedad de las aguas e impiden el paso de la luz, retardan el crecimiento de las plantas (Crites y colaboradores, 2000).

Sin duda, los sólidos en suspensión (de tamaño mayor a una micra de diámetro) precipitan en el fondo o se depositan en las orillas, se descomponen originando malos olores en consecuencia disminuye el oxígeno. En este efluente se encuentran por debajo del límite inferior



normado, lo cual indica que se sedimentan por gravedad y no requiere unidades de sedimentación adicional.

En cuanto a los parámetros bacteriológicos del Cuadro 2, se observa que los coliformes totales se encuentran fuera del límite máximo establecido, estos resultados son debido en parte a que no se previó en el diseño algún tipo de pretratamiento. Argumentando, Romero et al (2009) reportan que estos valores indican que existen bacterias asociadas al sustrato y en mayor proporción a la rizósfera. Estos resultados ponen de manifiesto la presencia de los microorganismos en el sistema, establecidos como biopelículas sobre el sustrato y asociados a las raíces de las plantas.

Ahora bien, los resultados de los parámetros químicos del Cuadro 3: Aceites minerales e hidrocarburos se encuentran muy por debajo del límite establecido, como cabría esperar, mientras que los aceites y grasas (totales) si tienen un incremento, la alta concentración alcanzada indica que es una importante fuente de alimentación de las bacterias presentes en las aguas residuales, constituida por los compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno, que flotan en el agua residual, recubren la superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento e interfieren con la actividad biológica, pues son difíciles de biodegradar.

Otra determinación de importancia es la $DBO_{5,20^{\circ}C}$, que solo representa el 12.75 % del valor límite máximo normado. En el sistema la remoción de carga orgánica es debido a la sedimentación y filtración, se descompone aeróbica y anaeróbicamente y el resto se encuentra en estado disuelto o en forma coloidal (Arias y otros, 2010). También, la DQO reporta un valor de solo 4.6 % del límite máximo normado, y es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica contenida en una muestra de agua residual en presencia de un agente fuertemente oxidante.

Así mismo, la concentración de fósforo total que reporta valores de concentración muy bajos en este estudio de solo 0,02 mg/L, es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de las plantas, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. Este es uno de los elementos más importantes para el crecimiento y reproducción de microorganismos que



promueven la estabilización de la materia orgánica presente en un residual industrial biodegradable. Y se presenta en las siguientes formas: ortofosfatos, fosfatos orgánicos, polifosfatos.

Para los nitritos se reporta un valor que corresponden al 2.32 % del límite máximo normado y estos son compuestos no deseados en la composición de las aguas. Su presencia puede deberse a una oxidación incompleta del amoníaco o a la reducción de nitratos existentes en el agua. El agua que contenga nitritos puede considerarse sospechosa de una contaminación reciente por materias fecales, lo cual coincide con la alta concentración de coliformes fecales encontradas. Los nitritos existentes en un agua pueden tener un efecto perjudicial sobre la salud de quien la consuma, si se encuentran un una concentración bastante elevada.

Por otra parte, la concentración de nitratos es e 3,4 mg/L valor por debajo del límite normado. Los procesos de descomposición y mineralización llevados a cabo por los microorganismos, transforman el nitrógeno a nitritos o nitratos (nitrificación) y finalmente a N₂ (desnitrificación) (Romero et al. 2009),

El nitrógeno total, reporta un valor que corresponde al 20 % del límite máximo normado, y es un elemento constituyente de todas las plantas y proteínas de animales. El nitrógeno orgánico que entra en al sistema está asociado con la materia orgánica del agua residual. La remoción inicial de estos materiales como sólidos suspendidos es más o menos rápida, gran parte del nitrógeno orgánico sufre descomposición o mineralización y se convierte en nitrógeno amoniacal en el agua (Lara, 2009).

También en este estudio, se reporta la conductividad, parámetro que mide la cantidad de sales presente en el agua, la cual indica la concentración de sales iónicas y evaluar si el efluente tratado es apto para uso agrícola. Entre más sales, ácidos o bases estén disociadas en la solución, mayor será la lectura de conductividad. Este parámetro está relacionado con la turbiedad observada en el efluente, por lo cual su optimización requiere la aplicación de algún coagulante.

Por esa razón, se toma como referencia la Norma Venezolana COVENIN 2634 (2002), establece el color del agua es debido a la presencia de sustancias disueltas y suspendidas, el cual permite estimar la condición del agua residual (fresca o séptica), además es un indicador de la contaminación, y puede ser el resultado de una elevada concentración de iones metálicos (Fe y



Mg) o bien puede originarse por materia orgánica en suspensión (plantas, algas, limo o desechos industriales) y disolución de sustancias coloreadas, tales como ácido húmico y humatos que provienen de la descomposición de la lignina. Por otra parte, el color gris oscuro o negro es debido a la formación de sulfuros metálicos, producto de la reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes.

Los metales analizados en este estudio permiten estimar la posibilidad de reutilizar el agua residual y los posibles efectos tóxicos en el tratamiento. Las cantidades de metales son importantes en el tratamiento biológico. (Crites y otros, 2 000). En cuanto al pH, expresa la intensidad de la alcalinidad o acidez. Su interpretación va relacionada con la alcalinidad o acidez, los cuales tienen relevancia por encima de 9,6 o por debajo de 4,4 respectivamente, su importancia radica en que el intervalo adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico (Castillo, 2020). Omey Zafra (2018) reporta que los resultados de pH en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales, se mantuvieron pH entre 4 y 9,1, con una mediana de 7,1, valor similar al encontrado en este estudio de 6,59. Por lo tanto, los hallazgos sugirieron que a pH extremadamente ácidos o básicos, se pudieron inhibir los procesos de degradación y, por lo tanto, reducir la eficiencia de remoción de contaminantes en los sistemas de biorremediación.

CONCLUSIONES

Los humedales artificiales son una alternativa biotecnológica eficiente (plantas, sustrato y microorganismos), para el tratamiento de aguas residuales producto de las actividades del sector agropecuario, las cuales se caracterizan por poseer un alto contenido de materia orgánica. Al describir las condiciones existentes para el manejo de los afluentes líquidos, se determinó que la infraestructura existente es capaz de satisfacer los límites establecidos en el marco legal vigente en materia sanitaria y ambiental, en cuanto a los parámetros físicos y químicos. Para determinar la calidad del agua residual a la salida del sistema, se determinaron los parámetros físicos, bacteriológicos y químicos de calidad de agua y se comprobó que se encuentran en general, dentro de límites máximos establecidos, especialmente al evaluarlos en términos de la carga



orgánica $\text{DBO}_{5,20^{\circ}\text{C}}$, DQO, y de los nutrientes como Fósforo Total, Nitratos, Nitritos, y Nitrógeno Total.

En este estudio, se verifica que los humedales artificiales representan una alternativa eficaz en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo su principal desventaja es la alta concentración de coliformes en el efluente, por lo que se hace necesario mejorar la calidad del mismo. Por último, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo por los entes competentes en materia ambiental y sanitaria.

REFERENCIAS

- Arias Hoyos A, Hernández Medina J, Castro Valencia A, Sánchez Peña N 2017. *Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural*. Disponible en: <http://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/548>[Consulta: 2021, Junio 09].
- Arias S. Betancur F. Gómez G. Salazar J. Hernández M. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales. *Informador Técnico (Colombia)* Vol. 74, Diciembre 2010, p 12 – 22. Disponible en: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/3250>[Consulta: 2021, Agosto 25]
- Camacho A. Pérez. L. Delgadillo O. & Andrade M. 2010. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Editorial: Nelson Antequera.
- Castillo^a, M. 2020. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Barinas. *AMBIENTELLANIA* Vol. 3, Núm. 1 (2020) pp. 11-20.
- Castillo^b, M. 2020. *Evaluación sanitaria de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Venezuela: Editorial académica española.
- Cortés Suarez P., Flórez Téllez J. D. (2017). Evaluación In Vitro de la Taruya (*Eichhornia Crassipes*) como agente Biorremediador en aguas contaminadas con cromo. [En línea]. Disponible en: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4530/1/Evaluaci%C3%B3n%20in%20vitro%20de%20la%20taruya_Pedro%20Cort%C3%A9s%20S_2017.pdf [Consulta: 2021, Agosto 09]



- Diez A. y Enciso N. 2019. *Eficiencia de dos humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. X Congreso Nacional de AIDIS Desafíos Ambientales: Estrategias Integrales y Acciones Coordinadas Uruguay: 28 y 29 de agosto 2019.
- Dupin M., Pérez L., Guerra B., Goya F., Ibarra E. y Pérez F. 2018. *Evaluación del desempeño ambiental del Matadero "Chichi Padrón"*. 4 Vol. 45 No.3 201. Disponible en: <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2018/3/4%20Vol.%2045%20No.3%202018.pdf> [Consulta: 2021, Agosto 09].
- EPA 542-F-96-025.1996. Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas. Disponible en <http://www.nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/10002T02.PDF?Dockey=10002T02.PDF>[Consulta: 2021, Agosto 25]
- Ferrera R. Rojas N. Poggi H. Alarcón A. Cañizales R. 2006. *Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos*. Revista Latinoamericana de Microbiología Vo. 48. N° 2 Abril-Junio, 2006 pp. 179-187.
- LARA J. 2009. *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona, España, 2009, Trabajo final presentado para optar al Título Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Instituto Catalán de Tecnología. 122 pp.
- León J. 2017. *Una Mirada a la Fitorremediación en Latinoamérica*. Disponible en: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13866/1/80541209.pdf> [Consulta: 2021, Agosto 09]
- Linares, M. y Morales, E. 2015. *Costos ambientales en el Matadero Industrial de Agua Santa, C.A., Estado Trujillo*. Venezuela. ISSN 1317-8822 Año 15 N° 1 Enero - junio 2016 Pg.: 44 – 64. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/visiongerencial/article/viewFile/7140/7009> [Consulta: 2021, Agosto 09].
- Norma Venezolana COVENIN 2634 (2002). *Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones (1ª Revisión)*. Caracas: Fondonorma.
- Núñez R. Meas Y. Ortega R. y Olguín E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf. [Consulta: 2021, Agosto 09]
- Ome O. Zafra C. 2018. *Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales*. Una revisión. Rev. U.D.C.A Act. &Div. Cient. 21 (2): 573 - 585. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037>[Consulta: 2021, Agosto 24]



Romero M. Colín A. Sánchez E. Ortiz M. 2009. *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. Revista internacional de contaminación ambiental Vol.25 No.3 Ciudad de México ago. 2009. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-499920090[Consulta: 2021, Agosto 27].

Venezuela. 1985. *Decreto 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5021 Extraordinario Caracas, octubre, 11.

Wang, C.; Zheng, S.; Wang, P.; Qian, J. 2014. *Effects of vegetations on the removal of contaminants in aquatic environments: A review*. J. Hydrodyn. 26(4):497-511. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(14\)60057-3](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(14)60057-3) [Consulta: 2021, Agosto 24].