

Construcción de un Humedal para la fitorremediación de agua residual en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

A. Viramontes-Acosta¹, M. Hernández-López^{1*}, T.E. Velasquez-Chavez¹, R.Mendez-Almaraz¹

Resumen— La descarga de aguas residuales al alcantarillado causa una pérdida considerable de recursos hídricos ya que aproximadamente se vierten 60,000 L al día, por lo cual se busca una forma más eficiente y sustentable para recuperar agua para su reúso en el ITSL, para esto se llevó a cabo la construcción del humedal artificial con planta de carrizo (*Phragmites australis*), la cual ha mostrado resultados positivos en investigaciones previas para tratamiento de aguas, y así cumplir con los parámetros establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1996.

Los resultados obtenidos y los porcentajes de remoción de los parámetros de agua residual tratadas, DQO: 66 mg/L; quitando el 93.20%. SST: 12 mg/L eliminando el 91.30% de éstos, y coliformes fecales: 0 NMP/100ml obteniendo el 100% de eficiencia. Huevos de helminto: ≤ 1 . Con un tiempo de retención a 7 días, resultados dentro de los límites máximos permisibles de la normatividad vigente.

Se puede concluir que la implementación del humedal artificial como técnica alternativa de fitorremediación, es una excelente opción cuando un flujo mínimo de caudal, en cambio no sería viable su utilización o implementación en una planta tratadora de aguas residuales.

Palabras claves— fitorremediación, humedal artificial, carga contaminante,

Abstract— The wastewater discharge to sewerage red causes loss of water resources, around to 60,000 L per day, thus we found to more efficient and sustainable ways of water treatment to recover water to reuse in the ITSL. In this study, we use reed plants (*Phragmites australis*) to build an artificial wetland, due to has shown positive results in previous research and thus comply with the parameters established by the NOM -003-SEMARNAT-1996.

The obtained results and percentages of removal in seven days or retention time were COD: 66 mg / L; removing 93.20%. SST: 12 mg / L eliminating 91.30% of these, and fecal coliforms: 0 NMP / 100ml obtaining 100% efficiency, helminth eggs: ≤ 1 . All within the maximum permissible limits of current regulations.

In conclusion, the implementation of artificial wetland such as alternative phytoremediation technique is an excellent

option to minimal flow cases, instead, it would not be feasible to use or implement a wastewater treatment plant

Keywords— phytoremediation, artificial wetland, polluting load.

I. INTRODUCCIÓN

Podemos afirmar que en los últimos años ha crecido la demanda por el agua para las diferentes actividades y necesidades humanas alrededor del mundo. En algunos países es tan crítico el nivel de agua restante que se han tomado medidas extremas para conservarla y en contraste, muchos otros la desprecian y contaminan de manera desproporcionada sin tomar precauciones para el futuro [1].

Podemos resaltar que las aguas residuales producidas por diferentes actividades humanas, (principalmente domésticas e industriales) representan un problema de magnitud y que va incrementando dependiendo de los países donde se esté hablando. El riesgo de estas aguas es que desemboquen en lugares donde se encuentre una población cercana y se emplee para actividades cotidianas o económicas, desencadenando enfermedades y problemas [2].

Así que la búsqueda de fuentes alternativas para abastecer a la población de agua es una acción que se debe tomar como prioridad.

Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. El agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad, asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución. Proveen sumideros efectivos de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el mecanismo detrás de los humedales artificiales para simular un humedal natural con el propósito de tratar las aguas residuales. Logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacteriano. Además que interactúan con la atmósfera. [3].

PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Localización del sitio

El presente estudio se llevó a cabo en un espacio asignado dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, situado en Av. Tecnológico No. 1555 sur Periférico

¹ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez. Lerdo 35150. Cd. Lerdo, Durango, México.
*(moni_herlop@hotmail.com)

Gómez-Lerdo Km. 14.5 de Cd. Lerdo Dgo (Figura 20). Su ubicación geográfica se encuentra 25° 46" de latitud norte y 103° 31' de latitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Mapimí y Gómez Palacio; al sur con el municipio de Cuencamé; al oriente con el municipio de Gómez Palacio y el estado de Coahuila y al poniente con los municipios de Mapimí y Nazas.

El clima predominante es el seco. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 1,355 y una temperatura media anual de 24°C.

B. Construcción del Humedal

Una vez seleccionado el lugar, se procedió a realizar una limpieza del terreno y una nivelación del mismo. Se colocaron tres hileras de block con dimensiones de 30 de largo por 20 de alto y 15 cm de ancho obteniendo de esta forma un humedal artificial (HA) de 90 cm², los block fueron pegados con cemento y se le colocó plástico negro para evitar filtraciones de agua al suelo.

Como se puede observar en la Figura 1, una vez colocado el plástico en la totalidad del humedal, se colocó un tubo de PVC de diámetro de 4 in con perforaciones de diámetro de 0.5 cm de diámetro para la captación del agua clarificada. Posterior a esto se colocaron tres capas de sustrato, las cuales fueron: arena, grava y arena con 20 cm de altura cada una de las capas.

C. Selección de la especie emergente

La planta utilizada es carrizo, el cual tiene una gran propiedad de remoción de Sólidos suspendidos totales y de ciertos contaminantes, debido a que la penetración de las raíces ocasiona una gran absorción de estos elementos, y la generación de carga microbiológica que incorporan al humedal aumenta en consideración la remoción de materia orgánica presente en el agua residual.

D. Establecimiento de las especies fitorremediadoras y riegos

Una vez establecido el HA se procedió a plantar las macrófitas utilizadas en la investigación las cuales fueron *Phragmites australis* (Carrizo) y *Typha latifolia* (Junco). El volumen aplicado como riego fue de 120 litros y se manejaron tres tratamientos los cuales fueron: T1 = 3 días, T2=5 días, T3=7 días y se manejaron alrededor de 5 repeticiones por tratamiento.

E. Análisis del agua residual y agua filtrada

El análisis del agua residual se realizó al inicio del proyecto, tomando una muestra representativa de 500 ml y de la cual se realizaron los siguientes análisis: demanda

bioquímica de oxígeno (DQO) (Método de reflujo abierto NMX-AA-030-SCFI-2001), Sólidos suspendidos totales (NMX-AA-034-SCFI-2001), Coliformes totales y fecales (NOM127 y NMX43, pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica (método potenciométrico).

F. Variables analizadas en el cultivo de carrizo

El análisis de las especies se realizó al finalizar el proyecto, tomando todas las plantas utilizadas en éste, dando un total de 12 plantas por m². Las plantas se extrajeron en su totalidad para medir la altura con un flexómetro, el grosor del tallo se midió con vernier, el número de hojas por planta. Se determinó materia orgánica por el método de calcinación y el porcentaje de carbono orgánico utilizando el factor 1.724 de Van Bemmelen.

La determinación de Nitrógeno se llevó a cabo utilizando el método Kjeldahl [4].

G. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el programa MiniTab 18, con el cual se realizaron los análisis de varianza correspondientes utilizando un anova de un solo factor con comparación en parejas de Tukey ($\alpha=0.05$).

II. RESULTADOS

En la Figura 1 se puede observar cómo se colocaron y pegaron las pilas de block para construir el HA, colocándose después el plástico negro para evitar las filtraciones del agua. También se pueden observar en la Figura 1 los sustratos utilizados los cuales fueron arena y grava.



Figura 1. Elaboración del Humedal y colocación de sustratos

En la Figura 2 se muestra la incorporación de las plantas fitorremediadoras y la aplicación del agua residual con la finalidad de eliminar el contenido de materia orgánica, olores y microorganismos presentes en dicho efluente.



Figura 2. Incorporación de las plantas de carrizo y junco, con saturación de agua corriente en el sustrato inerte.

Este apartado permite presentar los resultados de la investigación científica.

A. Variables evaluadas en el Agua Residual

Algunos de los parámetros evaluados en el agua residual fueron pH, temperatura y conductividad eléctrica, dando un promedio de 7.11 para pH considerado como un valor neutro y una temperatura de 20.2°C y conductividad eléctrica de 2170.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ encontrándose estos parámetros dentro de los ideales para el desarrollo de cualquier cultivo siendo similar a la temperatura encontrada por [5], favoreciendo el crecimiento del carrizo empleado en el humedal

B. Análisis Químico del Agua residual

En el Cuadro I, se puede observar que la DQO se encuentra por encima de los 900 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ encontrándose estos valores por encima de los obtenidos por [6], los cuales son de 350 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DQO. Mientras que para SST se tienen valores de 138 a 141.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, encontrándose también por encima de los valores encontrados por [7] con <20 ppm de SST. En el caso de nitrógeno los valores también están por encima de los obtenidos por [8] obteniendo un valor de 55 % y nuestra agua con valores por encima de 72 %, en el caso de fosforo con valores de 31 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ son similares a los obtenidos por [8] con promedios de 30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tratamiento	DQO $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	SST $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	N %	P $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
T1	971.75	138.5	72.375	31.875
T2	980.4	141.8	79.4	33

T3	973.5	138	78.5	33
T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, DQO = Demanda Química de Oxígeno, RDQO = Remoción de Demanda Química de Oxígeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, RN = Remoción de Nitrógeno, P= Fosforo, CT= Coliformes Totales. * Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05)				

C. Análisis Químico del Agua tratada

En el Cuadro II se muestran los resultados químicos del agua tratada mostrando una remoción mayor en el tratamiento 3 para DQO con una entrada de 971 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Cuadro I y salida de 66 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Cuadro II logrando una remoción del 93.20 % Cuadro II, quedando por debajo un 1.8% que los porcentajes de remoción encontrados por Romero *et al.*, 2009 el cual encontró valores de 164 - 7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Lo que significa una remoción de 95.73 %. En SST en el Cuadro II, se encontraron porcentajes 91.30 % estando estos valores por encima de los encontrados por Luna y Ramírez 2009, los cuales obtuvieron 90.2%. Para nitrógeno se obtuvieron porcentajes de remoción 42.85% quedando por debajo de los encontrados por [9], que obtuvieron un 53% de remoción. Para Fosforo (ver Cuadro II), se obtuvo un porcentaje de remoción 42.85 % valor ligeramente mayor del encontrado 40.35 % [6].

T	DQO $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	RDQO %	SST $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	N %	RN %	P $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
T1	378.84b*	61.02c	16.5 a	49.5 b	31.58 b	22.6 ^a
T2	84.8 ^a	91.35 b	16.8 a	45.60 b	42.12 b	22 ^a
T3	67 ^a	93.11 ^a	16 a	29.0 a	63.06 a	19.5a

T=tratamiento, T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, DQO = Demanda Química de Oxígeno, RDQO = Remoción de Demanda Química de Oxígeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, RN = Remoción de Nitrógeno, P= Fosforo, CT= Coliformes Totales. * Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05)

D. Análisis microbiológicos

En el Cuadro III se muestran los resultados de coliformes totales, encontrando que para agua residual se obtuvo un promedio de 1280.53 NMP/100 ml quedando por encima de lo permisible de la NOM-003-SEMARNAT-1996 [10], que establece un límite de 240 NMP/100 ml. Una vez obtenida el agua tratada con nuestro sistema de humedal, se obtuvo un valor de 8 NMP/100 para los tres tratamientos, en los cuales no existió diferencia significativa, sin embargo si se logró obtener un porcentaje alto de remoción de coliformes por encima del 99.9 para los tres tratamientos. Esto se atribuye a la capacidad depuradora de las especies en especial junco (*Typha latifolia*) que es capaz de remover hasta el 99.99% de coliformes y bacterias, encontrado en los resultados obtenidos por [11].

CUADRO III
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL Y DEL AGUA TRATADA

Tratamiento	CTE NMP/100 ml	CTS	RCT %
T1	1276.5	8 a*	99.9 a
T2	1295.2	8 a	99.9 a
T3	1283.5	8 a	99.9 a
Promedio	1285.06		

T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, CTE = Coliformes Totales de Entrada, CTS= Coliformes Totales de Salida, RCT= Remoción de Coliformes Totales. * Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05).

E. Análisis Químicos de las plantas de carrizo obtenidas del HA

En el Cuadro IV se muestra el rendimiento de las especies utilizadas en el HA. Se encontró los porcentajes de Materia Orgánica 49.93% por debajo de los encontrados por [12] que reporto porcentajes del 45.7%. Así mismo se encontraron porcentajes de Carbón orgánico 29.0%bajos comparados con los encontrados por el mismo autor que fueron 58%. Nitrógeno total se presentaron valores bajos de 1.21% en comparación con los del autor que fueron 24%. (Estos parámetros fueron analizados por el autor a la especie ornamental *cryrus papyrus*). Se encontró que las plantas en promedio contenían un promedio de MO= 49.93 %. CO= 29 % N= 1.21 %

CUADRO IV
ANÁLISIS QUÍMICO EN PLANTAS DE CARRIZO UTILIZADAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUA RESIDUAL.
MO = Materia Orgánica, CO = Carbón orgánico, N= Nitrógeno

F. Análisis físicos de las plantas de Carrizo obtenidas del HA

Se inició el proyecto con las especies en estado de únicamente rizomas, teniendo así resultados significativos de crecimiento durante todos los tratamientos empleados en el HA. Se observó una altura máxima en los tallos de 133 cm teniendo como mínima 74 cm, con significancia irrelevante en el grosor de los tallos de 0.5 +- 0.3 cm, encontrando una máxima de hojas de 16 y mínima de 6, un rendimiento en verde promedio de 18.17 g/m². (ver Cuadro V).

CUADRO V

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PLANTAS DE CARRIZO UTILIZADAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUA RESIDUAL.

No. Planta	MO	CO	N total
%			
1	50.8	29.5	1.75
2	40.7	23.6	0.49
3	64	37.1	0.84
4	55.9	32.4	1.26
5	30	17.4	1.26
6	39.1	22.7	1.26
7	57.4	33.3	1.68
8	59.7	34.6	1.4
9	39.6	23.0	0.42
10	58.9	34.2	2.1
11	49.1	28.5	0.7
12	54	31.3	1.4
Promedios	49.93	29.0	1.21

No. Planta	Altura cm	GT cm	No. de hojas	RV g/m ²
1	79	0.5	7	21.509
2	74	0.6	6	16.836
3	129	0.7	16	32.223
4	87	0.6	10	8.815
5	100.5	0.3	14	12.256
6	115	0.7	13	27.432
7	99	0.6	8	18.964
8	133	0.6	14	35.55
9	98	0.5	11	17.027
10	103	0.3	11	7.489
11	81	0.3	10	12.99
12	99	0.4	8	6.984
Promedios	99.79	0.50	10.66	18.17

GT= Grosor del Tallo, RV= Rendimiento en verde.

III. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se determinaron las características básicas para el diseño y construcción de un humedal artificial para la fitorremediación del agua residual precedente del laboratorio.

Se determinaron las características químicas del agua tratada obtenida en el humedal, en la cual se concluye que el tratamiento tres con 7 días, es el que mostro valores más significativos para dichas variables obteniendo en la Demanda Química de oxígeno un valor de remoción de

93.1 % y un valor de $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para sólidos suspendidos totales y un porcentaje de remoción de nitrógeno del 63% para el T3.

El cultivo carrizo que fue la especie fitorremediadora utilizada se obtuvieron promedios de materia orgánica, Carbono orgánico y nitrógeno de 49.93%, 29% y 1.21% respectivamente, concluyendo que este cultivo si tiene ciertas características fisiológicas para lograr la absorción de dichos elementos.

Para los análisis microbiológicos se concluye que para coliformes totales no existieron diferencias significativas entre tratamientos, más sin embargo si existió una remoción de coliformes presentes en el agua residual, obteniendo un promedio de 1285.06 NMP/100 ml a 0.0087 NMP/100 ml en agua tratada existiendo un porcentaje de remoción del 99.9%.

La implementación de un humedal artificial como técnica alternativa de fitorremediación, para tratar un flujo de agua contaminada (residual) de manera eficiente, es una excelente opción cuando se trata de un flujo mínimo de caudal, el cual no sería viable para utilizar o implementar una planta tratadora de aguas residuales.

Se recomienda realizar este proyecto utilizando diferentes especies macrófitas fitorremediadoras.

Utilizar otros tipos de sustratos diferentes a los que se utilizaron en este proyecto que fue arena y grava.

Se tiene que hacer una adecuación a la cisterna por que el flujo no era suficiente para que la bomba succionara el agua residual hacia el contenedor que se encontraba encima de la estructura metálica, provocando que los riegos se hicieran de forma manual.

Durante el proceso de investigación se encontró que la especie de Junco (*Typha latifolia*) es una macrófita con características esenciales para la remoción de diversos contaminantes, más sin embargo este cultivo no se pudo desarrollar en nuestro proyecto, se recomienda realizarlo nuevamente para determinar cuáles fueron las razones por las cuales no se desarrolló.

IV. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por las facilidades brindadas para la construcción del humedal, por facilitar el laboratorio de ambiental para la realizar los análisis necesarios.

V. REFERENCIAS

- [1]
[2] CEPAL (Comisión Económica para América Latinay el Caribe. (2014a).La economía del cambio climático

en America Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible, (LC/G.2624), Santiago de Chile.

- [3] Llagas Chafloque, W.A. y Guadalupe Gómez, E. 2012. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 9, 17 (ene. 2012), 85-96
- [4] Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. New York, NY, USA. 363 p.
- [5] Moreno-Arias, C., & Moreno-Arias, L. (2010). Ecología participativa para el manejo integral de humedales y recursos pesqueros en los lagos de la cuenca baja del río Caquetá y Apaporis (Amazonía Colombiana). Fase III: Informe final. In *Universidad de Antioquia y Conservación Internacional Colombia. In Mora et al.(2010). Proceedings of the Berlin Confernces on Human Dimensons of Global Environmental Change. Freie Universität Berlin.*
- [6] Delgadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Nelson Antequera.
- [7] Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. A. (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*, 25(3), 157-167.
- [8] Bedoya Pérez, J. C., Ardila Arias, A. N., & Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 275-283.
- [9] Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Angel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico*, (74), 12-22.
- [10] Ramírez-Carrillo, H. F., Luna-Pabello, V. M., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista mexicana de ingeniería química*, 8(1), 93-99.
- [11] NOM-003-SEMARNAT-1997. (2008). *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.* México, DF, 21.
- [12] García Botero, T. (2005). *Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial* (Master's thesis, Bogotá-Uniandes)
- [13] Rivas, A., & Paredes, D. (2014). Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua* (2), 189.

VI. BIOGRAFÍA

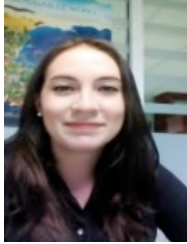


Viramontes Acosta Adriana. Torreón, Coahuila. 08 de julio de 1978. Licenciatura en ingeniero Químico, Universidad Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México, 2000. Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.

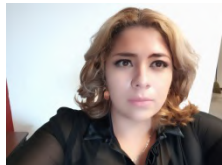


Hernández López Mónica nació en Torreón Coahuila el 22 de febrero de 1983. Es Ingeniera Química en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México, en el 2007. Continúo con sus estudios de postgrado en el Instituto Tecnológico de Torreón en la ciudad de Torreón Coahuila, México, obteniendo el grado de Maestra en Ciencias en Suelos en el 2010.

Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.



Velásquez Chávez Tania Elizabeth. Nació en la ciudad del Gómez Palacio, Durango el 6 de febrero de 1987. Cursó la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en Facultad de Ciencias Químicas de la UA de C en la ciudad de Saltillo, Coahuila terminando los estudios en el año 2009. Tiene maestría en Ingeniería Bioquímica en la Escuela de Ciencias Biológicas de la UA de C en la ciudad de Torreón Coahuila terminando esta misma en el año 2013. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, como docente de la división de Ingeniería Ambiental.



Méndez Almaraz Rita. Nació en Gómez Palacio, Durango el 26 de noviembre de 1992. Es egresada de la carrera de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Lerdo, Durango, México, 2019.