

Tratamiento con humedales artificiales de aguas residuales canalizadas para su uso en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - 2022

Constructed wetland treatment of channeled wastewater for use in University National Jose Faustino Sanchez Carrion - 2022

Miguel Ángel Inga Sotelo¹, Denisse Jesús Vélez Chang²

1

RESUMEN

Objetivo: Consiste en aplicar un tratamiento con humedales artificiales a las aguas residuales del cauce que pasa en las proximidades de la universidad de Huacho, estas aguas residuales se conducen al medio marino, una fracción convenientemente separada del canal se le puede tratar con humedales artificiales utilizando cultivos con capacidad depuradora, que contribuye a la oxigenación del sustrato y a la biodegradación de los nutrientes y en la parte subterránea se desarrollan una población de microorganismos, que promueven los principales procesos que se encuentran involucrados para biodegradar y eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. **Material y Métodos:** El volumen de agua residual depositado en el compartimiento, se calculó para un tiempo de residencia de 5 días, para luego pasar este mismo volumen de agua al siguiente compartimiento y este al tercer y último compartimiento por cinco días de tiempo de residencia en cada compartimiento, completando 15 días de tiempo total para biodegradar el afluente con características ligeras de contaminación como es el caso de las aguas del cauce referido líneas arriba. **Resultados:** La tabulación de la información experimental resultante se presentan en 03 tablas que muestran la separación de sólidos disueltos y también los de naturaleza coloidal, estos últimos está directamente relacionados con la turbidez y el TDS que presenta las muestras de agua residual, y en el caso de los sólidos orgánicos removidos se reflejan en los resultados de DBO. **Conclusión:** El producto obtenido del tratamiento con humedales artificiales, es un agua que previamente clorada para eliminar la baja población de coliformes fecales y totales se podría dar uso como agua de riego para el campus de la universidad.

Palabras clave: Humedales artificiales; Aguas residuales.

ABSTRACT

Objective: It consists of applying a treatment with artificial wetlands to the residual waters of the channel that passes in the vicinity of the Huacho University, these residual waters are conducted to the marine environment, a conveniently separated fraction of the channel can be treated with artificial wetlands using crops with purifying capacity, which contributes to the oxygenation of the substrate and the biodegradation of nutrients and in the underground part a population of microorganisms develops, which promote the main processes that are involved to biodegrade and eliminate the contaminants present in the residual water. **Material and methods:** The volume of residual water deposited in the compartment was calculated for a residence time of 5 days, to then pass this same volume of water to the next compartment and this to the third and last compartment for five days of residence time. in each compartment, completing 15 days of total time to biodegrade the tributary with slight contamination characteristics, as is the case of the waters of the channel referred to above. **Results:** The tabulation of the resulting experimental information is presented in 03 tables that show the separation of dissolved solids and also those of a colloidal nature, the latter is directly related to the turbidity and the TDS that the residual water samples present, and in the case of the organic solids removed are reflected in the BOD5 results. **Conclusion:** The product obtained from the treatment with artificial wetlands is a water that was previously chlorinated to eliminate the low population of fecal and total coliforms and could be used as irrigation water for the university campus.

Keywords: Constructed wetlands; Slewage wáter

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aumento de la densidad de habitantes, el problema de desabastecimiento del recurso agua se hace más notorio para cubrir las diferentes necesidades de este recurso valioso en diferentes usos de este valioso líquido según sus

diferentes categorías de calidad, se plantea la necesidad de realizar investigaciones que propongan soluciones que permitan reciclar o reusar el agua con rendimientos de remoción de impurezas satisfactorios y óptimos de acuerdo a el uso que se le va dar y así también proteger los cuerpos de agua que disponemos, tales como lo son los ríos lagos, lagunas, escorrentías y el medio marino.

Recibido 16/01/2022 Aprobado 26/02/2022

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



¹Miguel Ángel Inga Sotelo, ORCID: 0000-0003-3940-120X. miguelinga_5@hotmail.com. Ambientales de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
²Denisse Jesús Vélez Chang, ORCID: 0000-0003-2969-9786. Egresada de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

El continuo incremento de la densidad poblacional genera mayores volúmenes de aguas residuales domésticas con alto contenido de materia orgánica y agentes patógenos que son arrojados sin ningún tratamiento hacia los cuerpos de agua, posteriormente estos alteran los ecosistemas acuáticos y ocasionan un impacto negativo a la biota acuática.

Una alternativa para depurar aguas contaminadas de origen urbano predominantemente es por medio de la utilización de los humedales artificiales en sus diferentes diseños que se pueda aplicar según la disponibilidad y condiciones del lugar donde se les puede construir. Los humedales artificiales se han implementado para tratar aguas domésticas municipales.

Hoy en día se da lugar a una contaminación indiscriminada de los cuerpos de agua ha impactado negativamente hacia el medio ambiente y la salud de la población, frene a esta problemática se realiza investigaciones para encontrar propuestas técnicas con evidencia científica, que permitan encontrar opciones de remediación para reducir o eliminar el daño ambiental.

Una de las alternativas de solución que se está aplicando es la implementación de las plantas de tratamiento de aguas residuales llamadas "PTAR" que se han instalado principalmente en la ciudad de Lima, generan efluentes menos tóxicos, pueden ser usadas para diversos usos de la actividad humana. Normalmente las plantas de tratamiento son insostenibles ya que tienen un alto costo de energía eléctrica, altos costos de mantenimiento, consumo de insumos químicos por lo que son viables parcialmente técnica y económicamente, tienen el inconveniente adicional de tipo ambiental de generar una importante cantidad de lodos, otra opción que se dispone es el uso de los humedales artificiales.

Una importante alternativa para tratar las aguas residuales son los humedales artificiales al respecto Arias. y Brix (2003) nos indica que el uso de lagunajes, de sistemas de infiltración, de humedales artificiales de toda la variedad de sistemas, pues producen efluentes de buena calidad, al mismo tiempo que presentan bajos costos de inversión, operación y mantenimiento y no requieren personal altamente capacitado. El uso de humedales para depurar aguas se ha incrementado durante los últimos veinte años y, hoy por hoy, son una opción de tratamiento de aguas residuales reconocida y recomendada. Se ha demostrado que son una opción para reducir materia orgánica. (p.18).

Respecto a los humedales artificiales Llagas y Guadalupe (2006) explican que estos son una forma de sistemas naturales de depuración, explican que están siendo considerados con el propósito del tratamiento del agua residual y control de la contaminación del agua. El interés en los sistemas naturales está basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas como opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos. Los wetlands son

uno de los muchos tipos de sistemas naturales que pueden usarse para el tratamiento y control de la contaminación. Según U.S. EPA (1983), Un wetland se construye específicamente con el propósito de controlar la contaminación y manejar los residuos, en un lugar donde existe un wetland natural.

Otro trabajo que nos evidencia la gran capacidad de remoción de contaminantes por acción de algunas plantas, nos explica Romero *et al* (2009) que el tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. 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. En el presente trabajo se evalúa el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, en el segundo, organismos de la especie *Typha domingensis* (Pers.) Steudel y en el tercero las dos especies. (p.157).

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestra.

La muestra del universo seleccionado está representada por una cantidad total de agua a tratar de por 75L de agua residual distribuidos en tres compartimientos de 25 litros c/u de agua residual para hacer los análisis necesarios y las corridas experimentales con el humedal artificial construido que se dispuso en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Materiales, equipos, reactivos

A fin de desarrollar el presente trabajo de investigación se necesitaron los siguientes equipos y materiales:

Equipos:

Humedal artificial construido con material de vidrio, con 3 divisiones, cada una ellas con las dimensiones siguientes: 0,30 m de altura, 0.40 m de largo y 0.30 de ancho. Comunicadas en la parte inferior por una placa permeable entre las divisiones que constituyen el humedal artificial.

Phmetro PEN Type Ph Meter.

Turbidímetro Hanna

Materiales:

- Burela 200 ml.
- Tubos de prueba
- Pera de separación
- Vasos Erlenmeyer de 50 y 250ml.
- Plantas Juncos colectadas del humedal natural próximo a la playa de Paraíso, que en una cantidad de 8 plantas por división se instalaron para la experimentación, con un tiempo de 20 días previos a la experimentación se instalaron en el humedal artificial.

Procedimiento experimental.

Las experimentaciones con las muestras de aguas residuales se realizaron en campo, así también en laboratorio, previa analítica de estas muestras en sus características físicas y químicas, para ello se utilizó los equipos disponibles de uso portátil y en mesa, se tabularon los resultados para su procesamiento y luego registro de resultados y luego evaluarlos, en el caso de la información de análisis microbiológica se evaluó en laboratorios certificados.

Los resultados obtenidos se contrastaron teniendo en cuenta las muestras de aguas residuales antes y después de su tratamiento, del humedal artificial preparado.

El trabajo de investigación se orientó para verificar la operatividad del prototipo del humedal artificial con un flujo horizontal en 03 etapas para ello se analizó y confrontó las propiedades más representativas de la calidad del agua tratada y las del agua sin tratar con el propósito de disminuir en un porcentaje significativo y comparable a la experimentación de los pares que con el mismo diseño u otros se ha logrado resultado.

La investigación también tiene por objetivo mejorar la calidad del agua de regadío con respecto a la presencia de sólidos disueltos, coloidales y en suspensión que dan al agua una apariencia medianamente turbia que se verifica por su contenido de sólidos con tendencia a naturaleza inorgánica y ligeramente de naturaleza orgánica que se evidenció por su bajo nivel de DBO₅ y también baja cantidad de microorganismos característicos como son los coliformes totales.

Aparte del objetivo de mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de regadío utilizando los humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal en tres etapas, existen otras correlaciones con las variables de operación del sistema que requieren pruebas experimentales para alcanzar una optimización en el diseño total del sistema de tratamiento del agua residual y que son los siguientes:

a. Pretratamiento utilizando mallas con granulometría necesaria para retirar las partículas sólidas en suspensión, también se puede hacer esta remoción de sólidos en suspensión utilizando una cesta con un fondo

perforado de aberturas finas que permita una separación del material particulado y fibras u otros sólidos en suspensión.

b. Tratamiento primario, si el agua residual presenta alta concentración de sólidos de naturaleza orgánica se requiere un tratamiento previo que puede ser por lodos activados o un tanque sedimentador a fin de reducir este alto contenido de DBO₅, pero en ese caso el agua residual a tratar presenta un bajo fin contenido de materia orgánica.

c. Mecanismo de medición del flujo volumétrico que está en función a la capacidad de rendimiento del humedal artificial subsuperficial con flujo horizontal en tres etapas, a su vez esta capacidad del sistema de humedal depende del caudal, de la carga orgánica e inorgánica, el tiempo de residencia del agua residual en el humedal artificial, área del humedal disponible, número y variedad de plantas que se usa. La finalidad del control de todas estas variables es evitar la formación excesiva de lodos en los recipientes del humedal artificial, usualmente acontece esta situación cuando se le carga demasiado al humedal perdiendo eficiencia en su capacidad de remover sólidos que fomentan la turbidez del líquido a depurar.

En el tratamiento del agua residual con la muestra tomada del cauce de aguas residuales, se realizó el retiro del material en suspensión y disuelto con el auxilio una malla N°80, a continuación se empezó con la prueba inicial experimental con una muestra del agua residual se probó con el sistema instalado con 03 compartimientos de vidrio comunicados entre sí a través ros del fondo de estas unidades divisorias con el auxilio de válvulas cuyo manejo es según los tiempos de sedimentación y degradación que realizan las plantas con capacidad depuradora, para este propósito se seleccionó el junco, con un promedio de 20 plantas en cada unidad divisoria.

Luego de realizar pruebas iniciales para la determinación de los tiempos de residencia, para una cantidad fija de agua residual a tratar en este caso fue de 25 litros para cada compartimiento, en el sistema de humedal artificial construido, el tiempo total calculado fue de 15 días, como tiempo de residencia del afluente hasta que se logró obtener un efluente con un porcentaje de depuración óptimo, previamente se analizó el agua según se muestra los resultados fisicoquímicos antes y después del tratamiento de depuración con el humedal artificial diseñado para un tiempo de residencia de cinco días por cada compartimiento, en la tabla 1, se muestran los resultados de salida en el compartimiento 01, que corresponde al término del quinto día de depuración, cuyos resultados se ilustran en la tabla 1

RESULTADOS

Tabla 1

Prueba experimental de depuración con humedal artificial con un efluente del primer compartimiento.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	2,00	1,5
TDS (mg/l)	25	15
Turbidez NTU total	19,00	12,5
N- total (mg/l)	1,7	1,4

Fuente: Elaboración propia

En el segundo compartimiento de depuración del humedal artificial se verificó los siguientes resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Prueba experimental de depuración con humedal artificial con un efluente del segundo compartimiento.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	1,5	0,55
TDS (mg/l)	15	7,5
Turbidez NTU total	12,5	7,5
N- total (mg/l)	1,4	0,8

Tabla 4

Correlación de variación del % de remoción del parámetro físicoquímico con respecto al compartimiento del humedal artificial.

Características Físicoquímica	% Remoción de la característica físicoquímica			
	División 1	División 2	División 3	TOTAL
Turbidez (NTU)	34,2	40	66,67	86,84
TDS (mg/l)	40	50	44	83,2
DBO ₅ (mg/l)	25	63,33	100	100
N- total (mg/l)	17,6	42,86	50	76,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

En el tercer compartimiento de depuración con humedal artificial se verificó los siguientes resultados.

Características Físicoquímica	Pretratamiento	Postratamiento
DBO ₅ (mg/l)	0,55	0
TDS (mg/l)	7,5	4,2
Turbidez NTU total	7,5	2,5
N- total (mg/l)	0,8	0,4

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se presentan en las 3 tablas anteriores muestran la separación de sólidos disueltos está directamente relacionados con la turbidez y el TDS que presenta las muestras de agua residual, y en el caso de los sólidos orgánicos removidos se reflejan en los resultados con los datos experimentales; DBO₅ y N-total.

Al inicio del presente trabajo de investigación se logró conseguir la información de la caracterización del efluente que se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Resultados de análisis microbiológico y DBO₅.

Características microbiológicas y DBO ₅	NMP/1000 ML
Numeración de coliformes fecales	1,8
Numeración de coliformes totales	1,8
DBO ₅ (m/l)	2

Fuente: UNJFSC

DISCUSIÓN

Los resultados respecto a la caracterización del agua residual del cauce de aguas residuales que discurren en las proximidades de la universidad nacional de Huacho, registraron un nivel de contaminación leve, dando la viabilidad técnica de aplicar un tratamiento utilizando los humedales artificiales, el cual tiene sus limitaciones para recibir aguas residuales con alta carga contaminante, así mismo los caudales de alimentación tampoco pueden ser muy altos para poder tratar el agua residual con el sistema de tratamiento por etapas y por cantidades determinadas de agua residual a tratar, como es el caso del presente estudio de investigación. Estos resultados se presentan en las Tablas 1, 2, 3 y 5.

Antes de iniciar el trabajo de investigación con el humedal artificial subsuperficial con flujo horizontal en 3 etapas instalado, se retiró con el auxilio de una malla N° 80 el material sobrenadante que se encuentra en el agua residual.

En cuanto al tratamiento con el humedal artificial se hicieron pruebas experimentales iniciales con el objetivo de determinar el volumen de agua residual y el tiempo de retención apropiados para una operatividad adecuada a la capacidad natural depuradora de los juncos instalados en un número de 20 plantas por cada división del recipiente de vidrio, el objetivo de realizar estas pruebas previas fue para determinar el volumen apropiado de agua residual y el tiempo de residencia del agua residual con las plantas los cuales fueron de 25 litros y 5 días por cada división respectivamente, Con estos parámetros de diseño se evitaba la formación de lodos que saturan el sistema de biodegradación natural, y así lograr un promedio de rendimiento aceptable de remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual.

Apreciando la Tabla 4, se observa que en promedio las velocidades de degradación son mayores cuanto más

diluido se encuentra el agua residual, este comportamiento de la cinética de degradación se verifica en la tabla 4, donde las características fisicoquímicas se degradan con porcentajes de remoción que son más altos conforme se progresa en el sistema de 3 divisiones conectadas del humedal artificial, el análisis a este resultado es que al inicio del tratamiento, la mayor carga contaminante que resiste y asimila es el primer grupo de juncos que está en el primer compartimiento del humedal artificial, el segundo grupo de plantas recibe una agua residual con menos carga contaminante por lo que su actuación biodegradadora es más eficiente y se adecua óptimamente a su capacidad natural depuradora, tal como se observa y analiza en los resultados de la tabla 4. Estas aguas ya tratadas con un inicial tratamiento de cloración se adecuan para su utilización como aguas de regadío para áreas verdes que tiene el campus universitario de la Universidad Nacional de Huacho.

CONCLUSIONES.

La conclusión a que se puede arribar, que el agua residual tratada obtenida cumple con los parámetros básicos para calificar un tipo de agua para su utilización como agua de regadío, esto se corrobora por los resultados de la analítica fisicoquímica y microbiológica en sus principales características que se muestran en la tabla 5, por otro lado la contaminación microbiológica encontrada es baja teniendo en cuenta que es una medición ocasional, que puede cambiar en función a las coordenadas geográficas donde se tomó la muestra y con la estación del año.

Los sólidos sobrenadantes se retiraron con el apoyo de una malla N° 80, quedando el agua preparada para el siguiente tratamiento, que es con el humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal con 3 divisiones.

Con los resultados, que se muestran en la tabla 4, donde se observa el porcentaje de remoción por división del humedal artificial para las condiciones de operación que se estableció para el humedal artificial, encontrando que conforme discurre el agua residual por las divisiones del humedal artificial, el agua va mejorando en sus características fisicoquímicas indicadoras de calidad en la depuración de ésta, notándose que en la primera división es donde se registra un mayor porcentaje de eliminación de carga contaminante.

El volumen de agua residual depositado en la primera división fue de 25 litros para un tiempo de residencia de 5 días, para luego discurrir esta cantidad de agua a la próxima y de esta a la tercera y última división por cinco días más por cada división, haciendo un tiempo total de 15 días, para biodegradar el agua residual hasta características aceptables para ser utilizada como agua de regadío.

El agua obtenida se le trata previamente con hipoclorito de sodio, hasta alcanzar una concentración aproximada en el rango de 1-1.5 ppm, para poder eliminar la carga microbiológica presente, antes de ser utilizada como

agua de regadío en la universidad nacional de Huacho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, C. y Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 13, pp. 17-24

Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Llagas W. & Guadalupe e, 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Rev. Inst. Investig. Fac. minas metalcienc. geogr.*, vol.9, no.17, p.85-96. ISSN 1561-0888.

Romero, M., Colin, A., Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (3). 157-167

