
Reutilización de aguas tratadas para riego. Caso de estudio: Efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chitré, Panamá (2019-2020)

Miller Gil, Liz

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
liz.miller@utp.ac.pa

Fábrega Duque, José

Centro de Investigación Hidráulica e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá.
Miembro del Sistema Nacional de Investigación
Panamá, Panamá
<https://orcid.org/0000-0003-1536-0386>

Abstract

Reuse of treated wastewater in irrigation is an alternative to face the challenges in water management, the climate crisis and periodic droughts. It provides greater availability of water for crops and recycling of nutrients. In Panama's Dry Arch, the situation of water scarcity is critical in the dry season, which makes it essential to look for alternatives. The objective of this work was to evaluate the viability of artificial wetlands, to improve the effluent of the Wastewater Treatment Plant from Chitre for irrigation purposes. The methodology consisted in the implementation of artificial wetlands of horizontal subsurface flow. Two plant species were used: Zacate Alemán grass and Tanner grass. Using water quality analysis, important physicochemical parameters were characterized. These parameters were: pH, total dissolved solids, electrical conductivity, chemical oxygen demand, turbidity, chlorides, sulfates; nutrients such as total nitrogen and total phosphorus, and biological parameters such as fecal coliforms. The results indicate that most of the physicochemical parameters improve after the treatment process with artificial wetlands. However, fecal coliforms obtained values higher than the maximum permissible limits established by the Panamanian technical regulation DGNTI COPANIT 24-99 (reuse of treated wastewater for surface irrigation of forages and inedible crops). It is recommended to make a detailed analysis of the biological parameters. Finally, wastewater treated efficiently will allow to be used safely without affecting the health of people and the environment.

Keywords: wastewater, artificial wetlands, reuse, irrigation, treatment.

RESUMEN

La reutilización de las aguas residuales tratadas en el riego es una alternativa para enfrentar los desafíos en la gestión del agua, la crisis climática y las sequías periódicas. Aporta mayor disponibilidad de agua para los cultivos y reciclaje de nutrientes. En el Arco Seco de Panamá, la situación es crítica por la escasez de agua en la época seca, haciendo esencial la búsqueda de alternativas. El objetivo fue evaluar la viabilidad de humedales artificiales, para mejorar la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chitré para fines de riego. La metodología consistió en la implementación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, se utilizaron dos especies vegetales: el pasto Zacate Alemán y el pasto Tanner. Mediante análisis de calidad de agua se caracterizaron parámetros fisicoquímicos como: pH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno, turbiedad, cloruros, sulfatos; nutrientes como el nitrógeno total y el fósforo total, y parámetros biológicos como los coliformes fecales. Los resultados indican que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos, mejoran tras el proceso de tratamiento con los humedales artificiales. No obstante, los coliformes fecales obtuvieron valores superiores a los límites máximos permisibles. Se recomienda hacer un análisis detallado de los parámetros biológicos. Finalmente, las aguas residuales al ser tratadas eficientemente, permiten que las mismas sean aprovechadas de manera segura sin afectar la salud de las personas y del ambiente.

Palabras clave: aguas residuales, humedales artificiales, reutilización, riego, tratamiento.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como el recurso natural más importante del mundo. A diferencia de otros recursos, éste no puede ser sustituido en sus aplicaciones; es la base del desarrollo social y económico de los países a través de la historia; siendo innegable que la disponibilidad y el adecuado abastecimiento del agua ha marcado la sostenibilidad de diferentes comunidades de la tierra [1].

El panel intergubernamental sobre cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) afirma que el cambio climático impacta significativamente la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos [2]. Las mayores consecuencias se presentan en las zonas del trópico, donde se encuentran gran parte de los países en vías de desarrollo, esto afecta el abastecimiento

de agua para cubrir las necesidades básicas y de saneamiento [3]. Los efectos negativos relacionados con la disponibilidad de agua también incluyen impactos en la salud pública y en la producción de alimentos y energía.

2. MÉTODO

Este estudio se desarrolla en la Cuenca del río La Villa en el Arco Seco de Panamá, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chitré, que proyecta una oferta en la recolección y tratamiento de aguas residuales de origen doméstico de 26,000 m³/día al año 2025.

A. Línea Base

Se realizaron análisis previos de calidad de agua del efluente de la PTAR de Chitré para evaluar las características y acotejar con las legislaciones sobre reúso de aguas residuales tratadas en el riego, específicamente de forrajes y cultivos no comestibles que establece el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24-99 y el DGNTI COPANIT 35-19 de Panamá [4] [5]. Esta última reglamenta lo relativo a la descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de agua continentales y marinas. En los resultados de la línea base se obtiene que la concentración de contaminantes del efluente es menor en comparación con el agua de entrada, sin embargo, existen algunos parámetros que sobrepasan el límite, como: el contenido de fósforo total, el níquel, el nitrógeno amoniacal, los sólidos suspendidos totales, DQO y la turbiedad, que fluctúa en los diferentes análisis [6]. En este sentido, fue necesario aplicar un tratamiento enfocado en la disminución de los parámetros mencionados, de tal forma que no excedan las normas de reutilización. Por tal razón, se implementa la unidad experimental de humedales artificiales con el objetivo de disminuir y evaluar la calidad del efluente y sus posibilidades de reúso.

B. Instalación de Humedales Artificiales

Se instaló un sistema piloto de Humedales Artificiales (Fig. 1) de flujo subsuperficial horizontal, como un tratamiento alternativo que utiliza el agua residual que proviene del proceso de sedimentación, es decir, no pasa por desinfección para limitar la afectación que tiene el agua clorada al desarrollo de los humedales. Adicional se instala un tanque de almacenamiento de 750 litros para alimentar el sistema de módulos experimentales [6].



Fig. 1: Sistema piloto de humedales artificiales. Fotografía: Liz Miller Gil.

En cuando a las características se diseñaron tres humedales artificiales, cada uno con su humedal testigo o réplica.

Humedal Blanco 1 (HB1): Incluye únicamente el sustrato, que se compone de gravilla fina. Tendrá su Humedal Blanco 1 Réplica (HB1-R).

Humedal Vegetal 2 (HV2): Se implementó una especie vegetal, que es el Pasto Zacate Alemán (*Echinochloa polystachya*), de igual forma tendrá una réplica denominada Humedal 2 Réplica (HV2-R).

Humedal Vegetal 3 (HV3): Se siembra otro tipo de especie vegetal que es el Pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*). Su módulo testigo es el Humedal Vegetal 3 Réplica (HV3-R).

El sustrato de cada humedal está compuesto por grava y gravilla fina 5 a 6 mm de diámetro y su profundidad es de 0.55 m. Cuenta con una pendiente de 2° hacia la zona de descarga. El nivel de agua es 5 cm por debajo de la superficie del sustrato. Por otra parte, en el sistema de distribución de entrada y salida del agua se utilizan tuberías de drenaje de 5 cm de diámetro con perforaciones de 10 mm de diámetro, separadas cada 5 cm [6].

C. Campañas de muestreo

La frecuencia de los muestreos fue aproximadamente quincenal. Para las pruebas se tomaron en consideración los parámetros descritos en la Tabla 1. Cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio y/o en campo se efectuó con instrumentación debidamente calibrada. Para el análisis de los resultados se calculó un valor promedio entre cada humedal y su réplica. Los resultados son cotejados con los límites máximos permisibles para cada parámetro, de acuerdo con los reglamentos técnicos mencionados.

Tabla 1. Parámetros, métodos y cantidad de muestras.

| Parámetros | Método | Cantidad |
|--|------------------|------------|
| pH, Sólidos Totales Disueltos (mg/L) y Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Multiparámetro1 | 10, 10, 10 |
| DQO (mg/L) | Colorimetría2, 4 | 7 |
| Turbiedad (UNT) | Turbidímetro3 | 3 |
| Cloruros (mg/L) | Método de Mohr | 3 |
| Sulfatos (mg/L) | Colorimetría4 | 3 |
| Nitrógeno Total y Fósforo Total (mg/L) | Colorimetría2, 4 | 7, 8 |
| Hierro, cromo y cobre (mg/L) | Colorimetría4 | 9, 5, 8 |
| Coliformes Fecales NMP/100mL | Colilert | 2 |

1Modelo Hanna HI 98194, 2Reactor Digital Block 200 de Hach, 3Modelo HI 98713 4Colorímetro DR 900 de Hach (dos decimales de precisión). Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

A. Variables Fisicoquímicas

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis de calidad de agua de la unidad experimental de humedales artificiales.

Tabla 2. Resultados del análisis de calidad de agua del efluente de los humedales artificiales y comparación con las normas.

| Parámetros | Entrada | HB1 | HV2 | HV3 | COPANIT 24-99 | COPANIT 35-19 |
|-----------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------------|----------------------------|
| pH | 7,47 | 7,56 | 7,05 | 7,14 | 6,00 a 9,00 | 5,50-8,50 |
| CE ¹ (MicroS/cm) | 824,00 | 728,90 | 766,80 | 744,35 | 3000,00 | 2000,00 |
| TDS ² (mg/L) | 412,56 | 363,35 | 383,45 | 391,30 | NA ⁴ | 500,00 |
| Temperatura (°C) | 29,71 | 27,69 | 27,65 | 28,13 | NA ⁴ | $\pm 3^\circ\text{C TN}^5$ |
| DQO ³ (mg/L) | 71,86 | 39,50 | 42,07 | 37,64 | NA ⁴ | 100,00 |
| Turbiedad (NTU) | 88,47 | 38,12 | 51,52 | 32,23 | NA ⁴ | 30,00 |
| Cloruros (mg/L) | 106,67 | 116,67 | 113,33 | 113,33 | 200,00 | 400,00 |
| Sulfatos (mg/L) | 65,67 | 68,50 | 47,50 | 45,17 | 350,00 | 1000,00 |
| Hierro (mg/L) | 0,159 | 0,017 | 0,038 | 0,034 | 5,00 | 5,00 |
| Cromo ⁺⁶ (mg/L) | 0,004 | 0,021 | 0,018 | 0,014 | 0,100 | 0,05 |
| Cobre (mg/L) | 0,016 | 0,006 | 0,015 | 0,011 | 0,020 | 1,00 |
| Fósforo Total (mg/L) | 11,03 | 8,63 | 6,75 | 7,18 | NA | 10,00 |
| Nitrógeno Total (mg/L) | 26,23 | 12,35 | 10,93 | 13,95 | NA | 15,00 |

¹Conductividad eléctrica, ²Sólidos totales disueltos, ³Demanda química de oxígeno, ⁴No aplica, ⁵Temperatura natural del cuerpo receptor. Fuente: Adaptado de CATHALAC - SENACYT, 2020.

Se evidencia un buen funcionamiento en la aplicación de los HA, debido a que hay una disminución en el efluente, en comparación con los valores de entrada (afluente). La mayoría de las variables fisicoquímicas cumplen con la normativa de reutilización de aguas residuales tratadas para riego superficial de forrajes y cultivos no comestibles, con

excepción de la turbiedad que excede el límite máximo permisible según la COPANIT 35-19.

En lo relativo a nutrientes, el nitrógeno total del pasto Zacate Alemán (63.28%) tuvo un porcentaje de remoción mayor que el del pasto Tanner (53.07%). Similarmente, el pasto Zacate Alemán (50.91%) mostró mayor remoción del fósforo total en comparación con el pasto Tanner (42.70%).

B. Variables biológicas

Al comparar el contenido de coliformes fecales de la entrada de los HA con el de la salida de la PTAR se determina una buena calidad de remoción mediante el proceso de desinfección, el cual utiliza la cloración (Tabla 3). Sin embargo, como el agua residual que ingresa a los humedales artificiales proviene de los sedimentadores tiene una mayor concentración de coliformes fecales. De este modo, los humedales blancos y su réplica (HB1 y HB1-R) y los humedales vegetales de pasto Zacate Alemán y su réplica (HV2 y HV2-R) indicaron una alta concentración de coliformes fecales con valores mayores a 2419.6 NMP/100mL. No obstante, el humedal vegetal de pasto Tanner y su réplica (HV3 y HV3-R) muestran una disminución a través de su proceso de tratamiento.

Tabla 3. Registro de datos de coliformes fecales (NMP/100mL).

| Fecha | Entrada | HB1 | HB1-R | HV2 | HV2-R | HV3 | HV3-R | Sal. PTAR |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|-----------|
| 01/8/20 | >2419,6 | >2419,6 | >2419,6 | >2419,6 | >2419,6 | 517,2 | 1119,9 | < 1,0 |

Fuente: Adaptado de CATHALAC - SENACYT, 2020.

Para el riego superficial de forrajes y cultivos no comestibles se recomienda una calidad del agua con valores de coliformes fecales menores a 1000 NMP/100ml. Para otros tipos de riego se establecen límites más exigentes. En este sentido, es necesario ejecutar un análisis más detallado de este indicador, ya que, con un solo muestreo de coliformes fecales no se puede determinar si la calidad del agua es apta o no para riego.

4. CONCLUSIONES

En general, las variables fisicoquímicas del efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, caracterizado por dos especies vegetales; el pasto Zacate Alemán y el pasto Tanner, cumplieron con los estándares de calidad de agua para su reutilización en el riego superficial de forrajes y cultivos no comestibles, que establece la COPANIT 24-99. Co excepción de la turbiedad que obtuvo valores límites en el efluente de ambas especies vegetales, considerando la COPANIT 35-2019. En cuanto a los nutrientes se determinó que el funcionamiento de los humedales artificiales es eficiente en la remoción de nitrógeno y

fósforo totales.

Las variables biológicas son fundamentales para evaluar la viabilidad en la reutilización del efluente tratado, en cuanto a los coliformes fecales se obtuvieron valores superiores a los límites máximos permisibles que establecen las normas. El efluente de los humedales requiere de un tratamiento de desinfección, al aplicarlo las concentraciones de coliformes totales y fecales se van a reducir.

Finalmente, la reutilización de las aguas residuales tratadas para el riego puede presentar riesgos, por lo cual es necesario adoptar todas las medidas eficaces para el control sanitario y así minimizar los posibles riesgos para la salud pública.

Referencias

- [1] Álvaro Arcos, Patricia, "Calidad del agua residual de la Planta Tratadora de Aguas de CECFOR N° 3 para uso agrícola". México D.F. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, 2010.
- [2] IPCC, "Resumen para responsables de políticas. Calentamiento global de 1,5°C". Ginebra, 32 pp. : World Meteorological Organization, 2018.
- [3] Sadoff, Claudia y Muller, Mike, "La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales". Estocolmo : Global Water Partnership, 2010.
- [4] Ministerio de Comercio e Industria. Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24- 99. Agua, Reutilización de las aguas residuales tratadas. Panamá, República de Panamá : s.n., 1999.
- [5] Ministerio de Comercio e Industria. Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35. Medio Ambiente y Protección de la Salud. Seguridad. Calidad de agua. Descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de agua continentales y marinas. Panamá, República de Panamá : s.n., 2019.
- [6] CATHALAC y SENACYT, "Estudio de calidad del agua de descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas(PTAR) de Chitré y La Villa de Los Santos". Panamá, República de Panamá : CATHALAC, 2018.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (SENACYT), al Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), y al Centro Nacional de Investigación (SNI) por el apoyo financiero y de logística.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.