

ÑEMAË MBAEAPÓ POKI Ì IKIAGUE OÑEMOMBOVAE REGUA KUAE ÑEMBOE RENDA GUASU UNIBOL GUARANÍ

ANÁLISIS DEL REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD INDÍGENA GUARANÍ

Pereira Dos Santos Mirelle Stéphanie¹, Toledo Escalante Rodolfo
Francisco², Vasconcelos Bezerra Anselmo César¹ & Chuviru
Supayabe Juan³

A
C

ÑEEMONI

Ñemaë poki kuae ì ikiague oyembombovae regua anivaerä oime gueru ñandeve mbaepichii reta jare oipueretako oime jeta oyekua mbaepichii reta ikavimabae reta ñandeve kuae ì ikiague oñembombo vae rupi. Jaeramoko oime yemboe kerei rupi ñandepuere vaerä yaiporuye jokuae ì ikiague irugue mbaeyeporu pevaerä: Ñandepuereko yaiporu jokuae ì ikiague yapapovaerä itane timbo peguaerä karai reta jei chupe biogás jare jokorai oipueravaerä oiporu reta, tembipe pevaerä jarevi tembimbo yemboyi pevaervi; jokorai oipueravaerä oyaporeta jokuae ñemboe ma tipikatu kuae ñemboe renda guasu unibol guaranipe jarevi oipueravi oyemboevae reta oyapo imbaraviki ñeembieka oiporuye vaerä jokuae ì ikiague jupi rupikavi ,oyeapota mbaeapo ñemaë poki iviapo yekou ñeñogatu rupi kuae ñande reko ñomai rupi.

Ñeeapo reta: Ì ikiague, Ì ikiaguegui oë itane timbovae; Yemboe rendaguasu tekoñomaípe oikoreta mboriviapevae kuae UNIBOL guaranipe, jaeko opaete tetañomaípe oiko reta kuae iviapi "Apiaguaiki tüpapevae".

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco Recife-Pernambuco, Brasil, mirellestephanie@gmail.com

² UNIBOL Guaraní y Pueblos de Tierras Bajas "Apiaguaiki Tüpa" Ivo-Chuquisaca, Bolivia, rodolfotoledo@unibolguarani.edu.bo

³ YPFB Corporación, Camiri-Santa Cruz, Bolivia, juan.chuviru@hotmail.com

RESUMEN

La disposición final de las aguas residuales es un factor importante para la manutención de la salud ambiental, su incorrecto descarte puede causar un grave impacto ambiental y la contaminación de los recursos hídricos. Así, estudios indican posibilidad de reuso de dichas aguas para otros fines, por ejemplo, la producción de biogás, disminuir el consumo de otras matrices de energía. Así, la UNIBOL Guaraní desarrolla estudios y prácticas exitosas de reutilización de aguas residuales, para contribuir con la conservación de este recurso natural tan importante para la vida.

Palabras clave: Agua residual; Biogás; UNIBOL Guaraní.

ABSTRAC

The final disposal of wastewater is an important factor for the maintenance of environmental health, its incorrect disposal can cause a serious environmental impact and contamination of water resources. In this way, studies indicate the possibility of reusing said water for other purposes, for example, the production of biogas, reducing the consumption of other energy matrices. Thus, la UNIBOL Guaraní develops studies and successful practices for the reuse of wastewater, to contribute to the conservation of this natural resource so important for life.

Keywords: Residual wáter, biogas, UNIBOL Guaraní.

1. INTRODUCCIÓN

Así como el agua potable es esencial para la vida, el correcto destino final de las aguas residuales es muy importante para la salud pública, a fin de evitar la contaminación de los recursos hídricos y también la ocurrencia de enfermedades. Las “Aguas residuales son aquellas provenientes del consumo humano diario y se componen generalmente por heces, orina y elementos característicos de los usos del agua, entre ellos la limpieza, generándose en este caso: jabón, papel, detergentes, arena, entre otros” (Silva y Mara, 1979). La calidad y cantidad adecuada de agua es importante para la manutención de la vida, y el tratamiento y disposición adecuado de las aguas residuales es importante para la sanidad de los recursos hídricos, así un aspecto complementa al otro.

No obstante, no toda el agua de consumo humano llega al sistema de alcantarillado, esto se debe a su utilización variada, “Cada persona, al consumir de media 200 litros de agua al día, genera 150 litros destinados al alcantarillado. Los 50 litros restantes pueden volver a la atmósfera por evaporación o infiltrarse en el suelo al lavar el patio o regar el jardín” (Cavinatto, 2003, p. 67). Por tanto, es posible correlacionar la cantidad de agua necesaria para abastecer a una población, la cantidad de agua para alcantarillado generada y la porción que retornará a la naturaleza.

El caso del agua para alcantarillado es particular, pues además de la parte líquida existe abundancia de materia orgánica presente en las aguas residuales domiciliarias, lo cual exige un tratamiento adecuado antes de retornar a la naturaleza, a fin de evitar la contaminación del cuerpo receptor, por consiguiente

“Cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica existente en las aguas residuales, mayor será su concentración o poder contaminante [...]. La concentración de las aguas residuales de una comunidad determinada está regulada por su correspondiente consumo de agua” (Silva y Mara, 1979, p. 5).

Es necesario pensar en el saneamiento no solo en sus aspectos técnicos y tecnológicos, sino también en lo cultural y social, ya que también incluye a las personas. Cabe mencionar que la participación social es un elemento clave para el mantenimiento y éxito de proyectos de tratamiento de alcantarillado. El tema ambiental y cultural es muy importante para la planificación de proyectos de saneamiento básico, la diversidad ambiental y cultural genera un impacto directo en la ejecución de los proyectos, y tales aspectos deben ser identificados en un diagnóstico previo del área de instalación, ya que la dinámica de la población del área urbana difiere del área rural, así como las áreas rurales se diferencian entre sí cuando se toma en consideración el contexto en el que se insertan. Por ejemplo: una comunidad rural en la región amazónica es bastante diferente a una comunidad rural en el Gran Chaco (Oliveira, Fernandes y Santiago, 2017).

La Universidad Indígena Boliviana (UNIBOL) Guaraní y Pueblos de Tierras Bajas Apiaguaiki Tüpa es direccionada para la enseñanza de nivel superior para jóvenes indígenas, en un modelo educacional pluricultural, que une ciencia y saber tradicional. Está ubicada en la comunidad de Ivo, municipio de Macharetí, departamento de Chuquisaca, Bolivia. Visto que está ubicada en una zona rural, hay una dificultad para el tratamiento de las aguas residuales de

esta población, así que los efluentes de la universidad son tratados en la ciudad más próxima, en la planta de tratamiento de alcantarillado de la Cooperativa de Agua y Alcantarillado (COOPAGAL) en el municipio de Camiri (Santos, Bezerra y Toledo, 2020).

Como centro de educación la universidad posee un proyecto de implementación de un sistema de biodigestor con producción de biogás en el campus con el tratamiento y utilización de sus propias aguas residuales, todavía es necesario saber la eficiencia del tratamiento del biodigestor, teniendo como referencia a nivel local la calidad del agua tratada que sale de la planta de tratamiento de alcantarillado en Camiri. Esta investigación tiene como premisa una comparación entre la calidad del agua tratada en un sistema tradicional de tratamiento de alcantarillado utilizado en Camiri y un sistema alternativo para uso rural utilizado en la UNIBOL Guaraní.

Luego, el objetivo de esta investigación es “Analizar la calidad del tratamiento del alcantarillado de la UNIBOL Guaraní en comparación con el tratamiento de alcantarillado de la ciudad de Camiri y las alternativas tecnológicas pensadas para optimizar el tratamiento de alcantarillado en la universidad”.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se caracterizó como una investigación exploratoria, que buscó conocer las características del tratamiento de alcantarillado de dos sistemas diferentes, y hacer una comparación entre ambos, según Gil (2008, p. 27): “Investigaciones exploratorias son realizadas con el objetivo de proporcionar una visión general de tipo

aproximativo acerca de un determinado hecho”.

Así, este trabajo se realizó en 3 pasos: primero, el análisis de la literatura, una revisión bibliográfica acerca del tema, libros, artículos, leyes y más; segundo, la colecta y análisis del efluente que sale de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri y del biodigestor de la UNIBOL Guaraní; y, por último, la comparación de los análisis y las consideraciones acerca del mejoramiento del tratamiento de alcantarillado.

El análisis de muestras de aguas residuales fue primordial para identificar los factores que necesitan de mejoría en ambos sistemas, así que según Braga et al (2005, p. 120): “Para caracterización del alcantarillado, se utilizan parámetros físicos, químicos y biológicos, cuyos valores permiten conocer su grado de contaminación y, consecuentemente, dimensionar y medir la eficiencia de las plantas de tratamiento de alcantarillado”.

3. RESULTADOS

La UNIBOL Guaraní posee 581 estudiantes y 94 funcionarios (Santos, Bezerra y Toledo, 2020), por otro lado, el municipio de Camiri posee 30.897 habitantes según datos del Instituto Nacional de Estadística del año 2001 (Gobernación de Santa Cruz, 2021). El tener certeza de la diferencia cuantitativa de la población de los espacios de estudio y de los sistemas de tratamiento utilizados es importante para comprender la demanda que reciben los respectivos sistemas de tratamiento de alcantarillado.

En la universidad, las aguas residuales provenientes de residencia universitaria (baños, cocina, lavanderías) se mezclan con los residuos de laboratorio y módulos productivos, dada la inexistencia de una tubería capaz de separar estos residuos. Muchos de esos materiales mezclados con el agua no son propios de la naturaleza, por ejemplo, los productos de limpieza, los cuales poseen compuestos químicos que al ser depositados en cuerpos hídricos tardan mayor cantidad de tiempo en su desintegración, lo cual podría ocasionar contaminación y desequilibrio ambiental. Además, debido a su alta carga orgánica (especialmente heces y orina), la disposición apropiada de las aguas residuales es esencial para evitar la contaminación ambiental, además de la presencia de parásitos, virus, hongos, bacterias y otros que tienen su origen en el ser humano, siendo necesario un proceso de tratamiento y disposición final apropiada (Braga et al., 2005).

Actualmente, no existe un tratamiento in situ para estos efluentes, sino son colectados y destinados para el tratamiento en la ciudad de Camiri. La periodicidad de limpieza del tanque de almacenamiento de estos efluentes está en función de la temporada del año, siendo en primavera-verano (cálido) 4 veces mensuales y en otoño-invierno (frío) 3 veces mensuales, en cada limpieza son recogidos 15 mil litros de efluentes (Santos, Bezerra y Toledo, 2020). La fosa donde actualmente se almacenan temporalmente los efluentes se encuentra en el camino hacia los módulos productivos (Imagen 1) y no posee señal de identificación o valla de protección para evitar accidentes, tanto para la circulación de personas como de animales, constituyéndose en un peligro.

Imagen 1. Fosa temporal de almacenamiento de efluentes



Fuente: Autores, 2019.

La institución responsable del tratamiento de las aguas residuales de la universidad ha sido durante mucho tiempo la Cooperativa de Agua y Alcantarillado, COOPAGAL, ubicada en la ciudad de Camiri, la cual posee un sistema de tratamiento secundario de aguas residuales. En esta planta, actualmente existe un responsable para su mantenimiento diario, siendo que se requiere de mayor mano de obra, como por ejemplo para el retiro de lodo generado en el Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado (RALF), son requeridas de manera eventual cuatro personas.

Esta Planta de Tratamiento de Alcantarillado utiliza un sistema tradicional de tratamiento de alcantarillado compuesto por: rejilla; desarenador; canal Parshal; reactor anaerobio de flujo ascendente (RALF) y lagunas facultativas

de flujo horizontal; y finalmente las aguas de las lagunas son direccionadas al cuerpo receptor, el Río Parapetí.

Imagen 2: Etapas de tratamiento de alcantarillado en la Planta de Camiri.



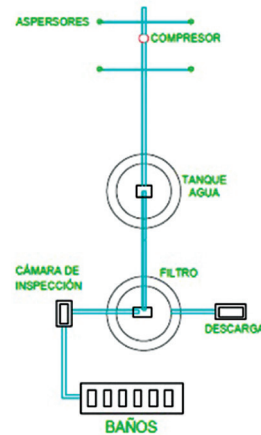
Fuente: Autores, 2019

Con el fin de realizar el tratamiento de las aguas residuales in-situ, el año 2018, fue presentada una propuesta para el tratamiento de las aguas negras que propone la creación de un sistema de tratamiento en el campus, con el objetivo de 1) Direccionar las aguas residuales a un biodigestor y separación de la materia orgánica para que el líquido sea dirigido a una planta de biogás, para producción de combustible a ser utilizado en la cocina; y, 2) Utilizar las aguas tratadas en el biodigestor para la irrigación de forraje para alimentación animal; 3) Producir biofertilizante con la materia orgánica.

La carrera de Ingeniería en Petróleo y Gas Natural (IPGN) es responsable de la creación y mantenimiento del biodigestor y la planta de biogás, las cuales tienen como objetivo el tratamiento y la reutilización de las aguas negras. El proceso consiste en dos etapas: el biodigestor separa la materia orgánica del efluente líquido y la planta de biogás produce combustible a partir de esta materia prima. El biodigestor es un sistema que captura las aguas negras y por medio de un ambiente cerrado, la materia orgánica es digerida por bacterias anaeróbicas.

Ilustración 1: Croquis del biodigestor

CROQUIS BIODIGESTOR

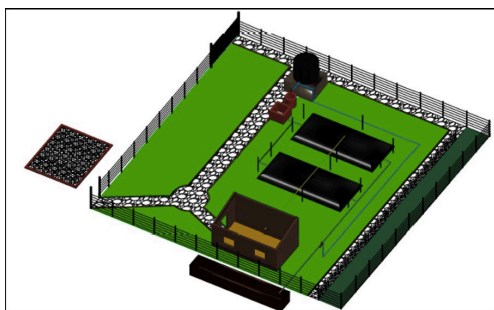


Fuente: Elaboración propia, 2019.

Un biodigestor es utilizado para la producción de energía limpia. Muchas haciendas utilizan estiércol de ganado y residuos vegetales para producir gas. Este material es colocado en biodigestores con ausencia de oxígeno. Las bacterias anaeróbicas fermentan el residuo,

generando gas combustible, el cual es utilizado en la propia hacienda (Cavinatto, 2003, p. 74). En lo que respecta a la materia orgánica conducida a la planta de biogás (Ilustración 1), su objetivo principal es la producción de biogás y posteriormente biofertilizante.

Ilustración 2: Representación gráfica de la planta de biogás.



Fuente: Autores, 2019.

A pesar que la planta de biogás (Ilustración 2) todavía no se encuentra operacional, pruebas preliminares fueron exitosas. Fue construida como una alternativa al uso de hidrocarburos, “con el objetivo de desarrollar nuevas tecnologías a partir de la recuperación y reciclado de residuos orgánicos (heces humanas, estiércol, basura orgánica de origen vegetal) que serán aprovechados para la producción de biogás y biofertilizantes”

(UNIBOL, 2019, p. 53). La producción de energía limpia sin dependencia de combustibles fósiles, está en concordancia de lo indicado por el Protocolo de Kioto, al promover la creación de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), con el fin de desarrollar tecnologías que permitan disminuir los gases de efecto invernadero (ONU, 1997).

Según Braga et al (2005, p. 112) “la calidad del agua utilizada y el objetivo específico del reuso establecerán los niveles de tratamiento recomendados, los criterios de seguridad a ser dotados y los costos de capital, operación y mantenimiento”. En los casos de estudio, las aguas que salen de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri serán dispuestas en el río (cuerpo receptor); y en el caso de la universidad el agua será utilizada para riego de forrajes, para lo cual necesitan de grados de potabilidad distintos.

Entonces a partir de ello fue realizado el análisis de calidad del efluente que sale de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri en los años 2019 y 2020. El Cuadro 1 muestra la calidad de agua resultante de la Planta y la eficacia de los procesos.



Cuadro 1. Parámetros de efluentes de la planta de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri.

Parámetros de efluentes de la planta de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri 2019				
Parámetro	Unidad	Afluente RALF	Efluente RALF	Efluente laguna
PH	6,5-9,0	7,65	7,24	8,06
Conductividad	μS/cm	1350	1169	931
Temperatura	°C	26,3	26	27,3
Coliformes Totales	UFC/100 ml	1,50E + 08	2,40E + 07	4,30E + 04
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9,30E +07	9,60E + 06	3,90E + 03
Sólidos Totales Disueltos	Mg/l	654	530	459
DQO	Mg/l	1425	439	332
DBO	Mg/l	578	136	62
Sólidos Sedimentables	MI/l	12,5	0,7	-
Amoniaco	Mg/l	147,21	107,97	40,87
Nitritos	Mg/l	0,42	0,10	0,286
Nitratos	Mg/l	99,73	46,2	46,93
Sulfuros	Mg/l	0,627	4,71	0,05

Fuente: COOPAGAL, 2019.

En 2020 fue realizado otro análisis para la comparación de datos entre los años 2019 y 2020 (Cuadro 2), donde fue

posible percibir que hay poca diferencia de calidad del efluente entre los dos años analizados.

Cuadro 2: Resultado de la calidad de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri.

Parámetros de efluentes de la planta de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri 2020				
Parámetro	Unidad	Afluente RALF	Efluente RALF	Efluente LAGUNA
pH	6,5 - 9,0	7,81	7,14	8,2
Conductividad	μS/cm	1560	1284	1123
Temperatura	°C	27,2	26,5	25,3
Coliformes Totales	UFC/100 ml	1,50E+08	2,40E+07	3,90E+03
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9,30E+07	9,60E+06	1,60E+03
Sólidos totales disueltos	mg/l	771	745	526
DQO	mg/l	1436	388	127
DBO	mg/l	587	134	60
Sólidos Sedimentables	ml/l	11,3	0,3	-
Amoniaco	mg/l	148,03	107,36	41,785
Nitritos	mg/l	0,37	0,08	0,33
Nitratos	mg/l	105,60	48,4	44,00
Sulfuros	mg/l	0,633	4,75	0,04

Fuente: COOPAGAL, 2020.

Comparando la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado de Camiri en diciembre de 2019 y

diciembre de 2020 se obtuvo el siguiente resultado (Cuadro 3):

Cuadro 3: Comparación de la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado en 2019-2020.

Comparación de la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento de Alcantarillado en 2019-2020		
Parámetro	2019	2020
PH	8,06	8,2
Conductividad	931	1123
Temperatura	27,3	25,3
Coliformes Totales	4,30E + 04	3,90E+03
Coliformes Fecales	3,90E + 03	1,60E+03
Sólidos Totales Disueltos	459	526
DQO	332	127
DBO	62	60
Sólidos Sedimentables	-	-

Fuente: COOPAGAL, 2020.

Por otro lado, en la UNIBOL Guaraní, el 2020, fueron identificados los siguientes

parámetros de calidad del agua residual tratada (Cuadro 4):

Cuadro 4: Resultado de la calidad de los efluentes del biodigestor de la UNIBOL Guaraní.

Resultado de la calidad de los efluentes del biodigestor de la UNIBOL Guaraní.		
Parámetro	Unidad	Biodigestor UNIBOL
pH	6,5 - 9,0	8,21
Conductividad	μS/cm	1.607
Temperatura	°C	22
Coliformes Totales	NMP/100 ml	9,30E+04
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,10E+04
Sólidos totales disueltos	mg/l	800
DQO	mg/l	24
DBO	mg/l	10
Sólidos Sedimentables	ml/l	-
Amoniaco	mg/l	53,68
Nitritos	mg/l	0,11
Nitratos	mg/l	41,07
Sulfuros	mg/l	0,047

Fuente: COOPAGAL, 2020.



Comparando el resultado del análisis de la universidad y de la ciudad, el resultado es (Cuadro 5):

Cuadro 5: Comparación de la calidad de los efluentes del biodigestor de la UNIBOL Guaraní y de la Estación de Tratamiento de Efluentes de Camiri en 2020.

Comparación de la calidad de los efluentes del biodigestor de la UNIBOL Guaraní y de la Estación de Tratamiento de Efluentes de Camiri en 2020.			
Parámetro	Unidad	Tratamiento secundario	Biodigestor
pH	6,5 - 9,0	8,2	8,21
Conductividad	μS/cm	1123	1.607
Temperatura	°C	25,3	22
Coliformes Totales	NMP/100 ml	3,90E+03	9,30E+04
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1,60E+03	2,10E+04
Sólidos totales disueltos	mg/l	526	800
DQO	mg/l	127	24
DBO5	mg/l	60	10
Sólidos Sedimentables	ml/l	-	-
Amoniaco	mg/l	41,785	53,68
Nitritos	mg/l	0,33	0,11
Nitratos	mg/l	44,00	41,07
Sulfuros	mg/l	0,04	0,047

Fuente: COOPAGAL, 2020.

A partir de los resultados se percibe que en general, los parámetros son similares, pero el tratamiento de DQO y DBO es mejor en el biodigestor de la universidad que en la planta de tratamiento de alcantarillado con todos sus procesos.

4. DISCUSIÓN

La reutilización de las aguas residuales tratadas en la universidad puede generar diversos beneficios, entre ellos se pueden citar: disminución de la dependencia a la captación de agua subterránea, cooperando con su conservación, especialmente en regiones de clima árido; complementar a la disponibilidad hídrica del local (Braga et al, 2005, p. 110) reducción de

la contaminación ambiental (PROSAB, 2001); producción de energía limpia (biogás), de acuerdo a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto (ONU, 1997) y para los Objetivos del Desarrollo Sostenible (OPAS, 2020); contribución al aprendizaje estudiantil a través de un trabajo transdisciplinar y por sobre todo contribuir con la filosofía del “vivir bien” promovida por el Estado Boliviano a través del Modelo Educativo Sociocomunitario Productivo (UNIBOL, 2019).

En el biodigestor se separa la parte líquida y sólida, para la transferencia de esta última hacia la planta de biogás y el material líquido ser utilizado para riego por aspersión de especies de forrajes y pasto ornamental de la universidad. La

Imagen 3 muestra el equipo construido por los estudiantes y docentes de IPGN, utilizado para la dispersión del agua del biodigestor para la irrigación.

Imagen 3: Equipo de control de distribución de agua residual.



Fuente: Autores, 2019.

Para la utilización de este efluente en irrigación, según la OMS (1996) son necesarios ciertos cuidados para evitar la contaminación por agentes patógenos, es necesaria la adecuación a su potabilidad exigida, aunque esta no sea la misma que el agua para consumo humano. Ciertos cultivos poseen requerimientos nutricionales específicos, siendo preciso conocer la dinámica de la especie vegetal a ser cultivada, así como un análisis de la composición físico-química y biológica del agua tratada antes de su utilización, siendo ciertos cultivos más restrictivos que otros.

No es recomendable la utilización de irrigación con efluentes para especies que serán consumidas crudas por los seres humanos, así como también no se recomienda el uso de irrigación por aspersión para evitar el contacto del agua con hojas y frutos causando contaminación, a su vez afectando la salud de los consumidores y, también, el agua puede transportada por el aire y entrar en contacto con los trabajadores y personas vecinas (Silva y Mara, 1979; PROSAB, 2001).

Dado que el proyecto inicial considera la utilización de riego por aspersión, es necesario repensar esa metodología, considerando que incluso si el cultivo es para alimento animal, puede poner en riesgo la salud de los trabajadores involucrados, dichas restricciones son importantes para la preservación de la salud ambiental (Silva y Mara, 1979). En el caso de irrigación de cultivos para forraje “si el efluente va a ser utilizado para irrigación “restringida” (forrajes e industrializables), la densidad de coliformes fecales debe ser menor a 5000 CF/100 ml” (Silva y Mara, 1979, p. 114).

Una propuesta para el tratamiento de estas aguas residuales son los humedales artificiales o Wetlands, los cuales buscan copiar el mecanismo del medio ambiente para la degradación de las aguas, “particularmente la degradación de la materia orgánica y la contención de nutriente (fósforo y nitrógeno)” (PROSAB, 2001, p. 59), mediante el uso de plantas. El sistema Wetlands favorece el tratamiento de las aguas residuales para poblaciones con escasos recursos para la construcción de sistemas complejas, siendo una alternativa viable y de bajo costo, “su importancia radica en su aptitud para ser empleado en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento” (Martelo y Borrero, 2012, p. 221).

De las especies de plantas macrófitas flotantes, una que merece ser destacada es *Eichhornia crassipes*, conocida también como Jacinto de Agua. Esta especie es bastante eficiente en el tratamiento de efluentes, disminución de DBO, DQO y sólidos suspendidos, además de la remoción de fósforo, nitrógeno y metales.



El jacinto de agua, la macrófita de mayor interés dada las características ya señaladas. Esta especie, de acuerdo con los reportes de la literatura, alcanza reducciones de DBO en el orden de 95%, y hasta 90,2% para la DQO. En el caso de los sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21% y 91%. En cuanto al fósforo total y nitrógeno total, se alcanzaron máximas remociones de 91,7% y 98,5% respectivamente, siendo este último, el contaminante con mayor remoción. Los metales también han sido objeto de remoción, encontrándose porcentajes de máxima remoción desde 85% hasta 95% para el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo. (Martelo y Borrero, 2012, p. 234).

No obstante, el clima local es importante para el desarrollo de la planta. La selección del Jacinto de Agua se debe, además de su eficiencia en el tratamiento de efluentes, a su buena capacidad de adaptación al clima, “puede crecer en una amplia gama de temperaturas de 1 a 40 °C (óptimo crecimiento entre 25-27,5 °C)” (Llantoy y Negrón, 2014, p. 164), siendo indicada teniendo en cuenta la amplitud térmica de la región. Según Martelo y Borrero (2012), el Jacinto de Agua es típico de aguas dulces, además al captar CO₂ y liberar oxígeno al agua, coopera en la actividad bacteriana y la depuración del cuerpo hídrico.

5. CONCLUSIONES

Por fin, la reutilización de las aguas residuales constituye un mecanismo para reducir la dependencia de entidades externas para su tratamiento, ahorro energético y fortalecer el currículo universitario. Sin embargo, se considera necesario la realización de pruebas de laboratorio con cierta regularidad para garantizar que el agua con potencial para el uso de riego se encuentre bajo los parámetros adecuados a fin de evitar afectaciones a la salud y posibles intoxicaciones en la institución y la comunidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J.G.; Mierzwa, J.C.; Barros, M.T.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. (2005). *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Pearson.
- Cavinatto, V.M. (2003). *Saneamiento básico: fonte de saúde e bem-estar*. 2. Ed. São Paulo: Moderna.
- Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia [Const]. 25 de Enero de 2009 (Bolivia).
- Gil, A.C. (2008). *Métodos e técnicas de Pesquisa Social*. Ed. 6. São Paulo: Editora Atlas.
- Llantoy, V.R.; Negrón, A.C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de Cadmio (II) y Mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua). *Rev Soc Quím Perú* Nro 80 (3).

- Martelo, J.; Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Revista Ingeniería y Ciencia*.
- NB 512. Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 2005 (Bolivia).
<http://www.pasoc.org.bo/wpcontent/uploads/2015/07/NB-512-Reglamento-Control-de-Calidad-del-Agua-para-Consumo-H.pdf>. [consulta 2/20].
- Oliveira, T.J.; Fernandes, K.N.; Santiago, A.F. (2017). Conceitos e tecnologias para o manejo de efluentes domésticos em pequenas comunidades rurais. Congreso ABES.
- OMS. (2020). Data and statistics.
<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/data-and-statistics>. [consulta 6/20].
- OMS. (1998). Guías para la calidad del agua potable. 2 ed. Ginebra
- OMS. (2020). Salud Ambiental.
<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/data-and-statistics> [consulta 6/20].
- OMS. (2020). Servicios de aguas para la salud.
<https://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/es/> [consulta 6/20].
- ONU. (2020). Human Rights to Water and Sanitation.
<https://www.unwater.org/water-facts/human-rights/> [consulta 6/20].
- ONU. (1997). Report of the Conference of the Parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 december 1997.
<https://unfccc.int/resource/docs/cop3/07a01.pdf> [consulta 2/20].
- OPAS. (2020). Objetivos de Desarrollo Sustentável.
https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5849:objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel&Itemid=875 [consulta 1/20].
- PROSAB. (2001). Pós-tratamento de efluentes de reactores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte.
- Santos, M.S.P.; Bezerra, A.C.V.; Toledo, R.F. (2020). Aspectos asociados a la salud ambiental en Unibol Guaraní. *Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais*. Recife, Volumen 9.
- Silva, S.A.; Mara, D.D. (1979) Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização. Río de Janeiro: ABES.
- UNIBOL. (2019). Unibol Guaraní Apiaguaiki Tüpa: Diez años de caminar en Educación Superior. Territorio Guaraní: Ivo.
- UNIBOL. (2021). Diagnóstico microcuenca del Río Macharetí. Territorio Guaraní: Ivo, Chuquisaca.

