



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 30
Octubre 2017
www.eumed.net/rev/delos/30

BIOSISTEMA NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS, REPÚBLICA DOMINICANA

Vladimir Antonio Rodríguez Núñez¹
vladimir.rn@hotmail.com
Universidad Tecnológica de Santiago,
Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN)
República Dominicana

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1. Introducción.....	3
2. Macro descripción del municipio de Santiago de los Caballeros.....	4
3. Tratamiento de aguas residuales en biosistema natural	5
4. Diseño del biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales.....	7
5. Análisis e interpretación de los datos	9
6. Conclusiones.....	15
7. Referencias bibliográficas	16

¹ Profesor de la Universidad Tecnológica de Santiago (UTESA), República Dominicana, y Encargado del Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la CORAASAN. Es Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica, Madre y Maestra (PUCMM) y Máster en Gestión Ambiental por la Universidad de la UTESA. Su principal línea de investigación es la gestión de las aguas residuales.

RESUMEN

Este proyecto para la implementación de un biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico en el municipio de Santiago de los Caballeros, es el resultado de la investigación, diseño, construcción y monitoreo de un Biofiltro – Humedal, con el objetivo de establecer los medios óptimos para reducir las concentraciones de los contaminantes presentes en las aguas residuales, generadas por pequeñas comunidades. El modelo propuesto es un sistema de ingeniería, diseñado y construido para utilizar las funciones naturales de los humedales, donde los procesos físicos, químicos y biológicos se llevan a cabo por los vegetales y microorganismos; y de un biofiltro con soporte orgánico que se basa en la capacidad que tiene cierta biomasa de actuar como resina biológica natural, capaz de fijar diferentes sustancias contaminantes.

Palabras claves: Tratamiento, aguas residuales, humedal, biofiltro, República Dominicana.

ABSTRACT

Natural biosystem for the treatment of domestic wastewater in the municipality of Santiago de los Caballeros, Dominican Republic. This project for the implementation of a Natural biosystem for the treatment of domestic wastewater in the municipality of Santiago de los Caballeros is the result of research, design, construction and monitoring of a Biofilter - Wetland, with the objective of establish the optimal means for reducing the concentrations of contaminants present in the wastewater generated by small communities. The proposed model is an engineering system, designed and constructed to utilize the natural functions of wetlands, where physical, chemical and biological processes are carried out by plants and microorganisms; and a Biofilter with organic support that is based on the ability of certain biomass to act as a natural biological resin, capable of fixing different pollutants.

Key words: Treatment, wastewater, wetland, biofilter, Dominican Republic.

1. INTRODUCCIÓN.

El acelerado e incontrolado desarrollo urbano y la escasez de facilidades ambientales y sanitarias representan la mayor causa del deterioro de las condiciones ambientales y sanitarias de la ciudad de Santiago de los Caballeros. En la actualidad, existen numerosas alternativas de tratamiento convencional para las aguas residuales, sin embargo, los altos costos de inversión inicial y de operación, limitan la expansión de estos sistemas de depuración de las aguas residuales en el municipio.

Las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas han mostrado que el éxito de la remoción no se debe exclusivamente a la disponibilidad de las técnicas, per se, sino a la interacción de diversos aspectos económicos, socioculturales, biofísicos y políticos administrativos que comprende un territorio (Alvarado, 2012). La disposición final de las aguas residuales procedentes de las diferentes actividades humanas, representan un conjunto de problemáticas en continua evolución y crecimiento.

Muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas naturales acuáticos han sido incorporados a los sistemas de tratamientos de aguas residuales creados por la ingeniería; en éstos se controlan las variables del sistema y se maximiza la rapidez de ocurrencia de los procesos minimizando el tiempo requerido para la purificación (Váldez y Vázquez, 2003).

Este proyecto de investigación para la implementación de un Biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico en el municipio de Santiago de los Caballeros, tiene como objetivos específicos el análisis de las variables de viabilidad, potencialidad, restricciones y características que poseen el sistema seleccionado.

El análisis de las variables permitirá determinar si el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico por el método propuesto, se presenta como una opción sostenible para las pequeñas comunidades. Este estudio tiene carácter experimental y posee un enfoque cuantitativo de investigación; usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis de los mismos para establecer patrones de comportamiento.

Los parámetros de diseño analizados en los influentes y efluentes para la implementación de un Biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el municipio de Santiago de los Caballeros fueron oxígeno disuelto, temperatura, fosforo total, pH, ortofosfatos, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, nitratos, color, turbiedad, demanda biológica de oxígeno DBO5, demanda química de oxígeno DQO, coliformes totales y fecales, con la finalidad de obtener información correspondientes a las preguntas de investigación.

Para alcanzar los objetivos planteados, el artículo se ha estructurado en siete apartados. Tras esta introducción, en el segundo apartado se presenta una macro descripción del municipio de Santiago de los Caballeros; en el tercero, el tratamiento de aguas residuales en Biosistema natural; en el cuarto apartado, el diseño del Biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales,

continuando con los análisis e interpretación de los datos recolectados; en el sexto, se ofrecen las conclusiones del estudio y finalmente se incluyen las bibliografías utilizadas en la investigación.

2. MACRO DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS

Santiago de los Caballeros es un municipio de la República Dominicana, capital de la provincia Santiago y principal centro metropolitano de la región norte o Cibao. Según el IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, el municipio contaba para ese año con una población de 691,262 habitantes (ONE, 2010). Debido a la ubicación del país, la temperatura en el municipio no presenta un gradiente significativo entre caliente y frío, y provee relativamente un promedio de temperatura alta en todo el año. Las temperaturas récords son: 41.0 °C (105.8 °F), temperatura máxima registrada el 13 de septiembre de 1960 (IDACyONM, 2011) y 11.2 °C (52.2 °F), temperatura mínima registrada el 31 de enero de 1987 (Quezada, 2006).

La ciudad de Santiago de los Caballeros se encuentra en un terreno accidentado que comprende lomas, pequeños barrancos y tierras llanas, con elevaciones de superficie desde 253 metros por encima del nivel del mar (msnm) con laterales de lomas (cerros de Gurabo), como tan bajo a 160 msnm en las áreas del río Yaque del Norte. Los declives de la superficie del suelo son en general moderados para que fluya por gravedad las corrientes de aguas de lluvias por la superficie. Debido a estas condiciones topográficas prevalecientes en el área, la mayoría de los alcantarillados conducen el agua residual por gravedad hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales de origen domésticos alcanzan 8 plantas de depuración en servicio, con capacidad instalada de 137,116.80 m³/día operadas por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN).

En el municipio de Santiago de los Caballeros, según el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de CORAASAN, sólo el 27.4% de las aguas residuales generadas en el año 2016 fueron tratadas en sistemas de depuración antes de descargarse a los cuerpos receptores superficiales y subterráneos. Además de perjudicar la salud de la población, este hecho se convierte en una limitante para reutilizar el recurso hídrico. La situación descrita se torna mucho más crítica, para ampliar la cobertura de tratamiento de las aguas residuales, cuando se consideran los altos costos de inversión, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago.

3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN BIOSISTEMA NATURAL

El tratamiento de las aguas residuales tiene por objeto la prevención de la contaminación de los cuerpos de agua y de los suelos, además de proteger la salud y promover el bienestar de los miembros de la sociedad. Solo es posible en la medida que se utilicen las técnicas apropiadas de tratamiento y disposición de las aguas.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios, y procesos biológicos unitarios. A pesar de que estas operaciones y procesos se utilizan conjuntamente en los sistemas de tratamiento, se ha considerado ventajoso estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos son comunes (Metcalf y Eddy, 1995). En el medio ambiente natural, cuando interaccionan el agua, el suelo, las plantas y microorganismos y la atmosfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos. Los sistemas de tratamiento natural se diseñan para aprovechar estos procesos con objeto de proporcionar tratamiento al agua residual (Metcalf y Eddy, 1995).

Los sistemas naturales de depuración son aquellos que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos. También son conocidos en la literatura científica y técnica como tecnologías no convencionales, sistemas de bajo coste, tecnologías blandas y sistemas verdes (García y Corzo, 2008). En las últimas décadas estos sistemas se han venido utilizando de forma creciente gracias a sus características de construcción y funcionamiento: su coste de inversión suele ser competitivo, requieren de poco personal para su mantenimiento, no presentan consumo energético o se reduce al necesario para bombeos de cabecera, y no generan grandes cantidades de lodos de forma continuada (García y Corzo, 2008).

En el presente trabajo nos centraremos exclusivamente en la tecnología de los Humedales Artificiales y los Biofiltros. Los Humedales Artificiales (HHAA) son "sistemas de ingeniería, diseñados y construidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales" (ITRC, 2003). Se implementan principalmente como tratamiento secundario, es decir, los efluentes siempre necesitan de un tratamiento primario, que debe ser de acuerdo a las características del afluente, antes de entrar en el lecho filtrante del Humedal Artificial (Delgadillo et al., 2010).

Dado que los humedales tienen una tasa de actividad biológica superior a la de la mayoría de ecosistemas, pueden transformar gran parte de las sustancias contaminantes presentes en el agua residual, convirtiéndolas en sub productos inocuos o incluso en nutrientes esenciales que pueden ser usados en producción biológica (Kadlec y Wallace, 2009). Según Sánchez (2013), esta

tecnología puede ser considerada como un ecosistema complejo, en el que los principales actores son:

- El sustrato: que sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas.
- La vegetación (macrófitas): que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que en su parte subterránea también se desarrolla la biopelícula.
- El agua a tratar: que circula a través del sustrato y de la vegetación.

El carácter artificial de este tipo de sistemas de depuración viene definido por las siguientes particularidades (Salas et al., 2007):

- Construcción de una superficie de fondo impermeable para evitar infiltraciones de las aguas residuales en el suelo.
- Substitución del sustrato de tierra con un medio filtrante de gravillas y gravas para garantizar la conductividad hidráulica y minimizar el riesgo de colmatación
- Elección, por parte del proyectista, de la vegetación macrófita que colonizará el humedal y contribuirá a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y al desarrollo de la biopelícula.

Los biofiltros que usan material orgánico como empaque (paja, turba, trozos de madera), se denominan biofiltros sobre cama o lecho orgánico. El proceso de biofiltración con soporte orgánico permite tratar simultáneamente efluentes líquidos y gaseosos. La tecnología se basa en la capacidad que tiene cierta biomasa de actuar como resina biológica natural, capaz de fijar diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradarlas en dióxido de carbono, nitrógeno molecular y en agua (Garzón et al., 2005).

El control de la carga aplicada permite un equilibrio entre el crecimiento y el decrecimiento de la biomasa, lo que conduce a una biodegradación pasiva de los contaminantes, sin producción de lodos biológicos. Las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas o ser descargadas al cuerpo receptor (Buelna et al., 2011). El agua residual que atraviesa el lecho orgánico se retiene un cierto periodo, denominado tiempo de residencia hidráulico (TRH), siendo un factor clave en todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La eficiencia de un biofiltro con un medio orgánico de empaque, tratando influentes líquidos está en función del área de la superficie específica del medio filtrante, la profundidad de este medio y la carga hidráulica (Garzón et al., 2003).

El material de soporte para los microorganismos debe de poseer ciertas características de retención de humedad y de adsorción para que inicialmente algunos nutrimentos orgánicos y sales minerales sean adsorbidos (retenidos) por el material antes que los microorganismos puedan colonizar la superficie de éste. El material filtrante debe tener una buena capacidad de retención de agua, ya que los microorganismos requieren de una importante cantidad de agua para crecer. El

rango óptimo de humedad del material filtrante en sistemas de biofiltración se considera entre 40 y 60%.

Si se utilizan granulometrías de gran tamaño en un sistema de biofiltración sobre material orgánico, se recomienda hacer una mezcla con granulometrías de menor tamaño o con fibras, para reducir el porcentaje de macroporos en el lecho filtrante. Con ello, se aumentará la cantidad de microporos en el lecho, generando un aumento en el tiempo de retención hidráulico del Biofiltro, y por consecuencia, se incrementaría la eficiencia de remoción de contaminantes (Medina, 2012).

4. DISEÑO DEL BIOSISTEMA NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El diseño de un Biofiltro - Humedal para el tratamiento de aguas residuales de origen domestico incluye básicamente dos aspectos: el dimensionamiento de la superficie de tratamiento necesaria y otras especificaciones físicas y técnicas. El dimensionamiento dependerá principalmente del objetivo que tendrá el tratamiento, que puede ser mejorar la calidad del agua antes de su descarga en un cauce, la recarga artificial de un acuífero mediante la retención y depuración del agua en el sistema, la retención y tratamiento de escorrentías por avenidas, o conseguir una cierta calidad del agua para su posterior reutilización en riego u otros usos (Sánchez, 2013).

La legislación propia de la zona en la que se plantea el sistema de tratamiento puede requerir el cumplimiento de una serie de criterios en el agua tratada (como concentraciones límite de algunos parámetros) o puede exigir algunas especificaciones de diseño según unas prescripciones técnicas, lo que suele conocerse como “diseño basado en el rendimiento” o “diseño basado en la técnica”, respectivamente (Kadlec y Wallace, 2009).

Los biofiltros que usan material orgánico como empaque (paja, turba, trozos de madera), se denominan biofiltros sobre cama o lecho orgánico. El proceso de biofiltración con soporte orgánico permite tratar simultáneamente efluentes líquidos y gaseosos. La tecnología se basa en la capacidad que tiene cierta biomasa de actuar como resina biológica natural, capaz de fijar diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradarlas en dióxido de carbono, nitrógeno molecular y en agua.

La superficie necesaria para la remoción de los contaminantes viene dada por las siguientes ecuaciones:

- $CM = \text{Concentración} * \text{Caudal} \quad (3.1)$
- $\text{Área de filtración} = CM / CMS \quad (3.2)$
- (CMS) Parámetros Carga Másica Superficial.

En el caso del humedal utilizaremos el modelo de Kadlec y Knight, desarrollado en 1996, basado en la carga superficial y que considera que en los Humedales artificiales la proliferación de

microorganismos da lugar a la producción de nueva materia orgánica, parte de la cual quedará retenida en el propio humedal, mientras que el resto saldrá del sistema, empeorando la calidad final de los efluentes. Existirán, por tanto, para cada parámetro, unas concentraciones umbral mínimas por debajo de las cuales no es posible mejorar la calidad de las aguas depuradas (C^*). La superficie necesaria para la remoción de los contaminantes viene dada por la ecuación 3.3:

- $A = \left(\frac{0.0365 Q}{K} \right) \ln \left(\frac{C_e - C^*}{C_o - C^*} \right)$ (3.3)
- A = Área mínima requerida para el lecho de plantas acuáticas, en ha.
- Q = Caudal, en m³/día.
- C_e = Concentración deseada de contaminante en el efluente, en mg/l.
- C_o = Concentración del contaminante en el influente, en mg/l.
- C^* = Concentración de fondo en el lecho de plantas acuáticas, en mg/l.
- k_{20} = Constante cinética de primer orden, en m/año.

Luego de aplicar las formulas indicadas, para un caudal de 500 litros/días en el humedal se obtiene un área de 23.56 m²; y para un caudal de 250 litros/días en el biofiltro, se proyecta que con un área para el biofiltro de 0.63 m², se obtienen los niveles de eliminación requerido para los contaminantes seleccionados.

Tabla 1. Parámetros de diseños del Biofiltro - Humedal

Parámetros:	Unidades	Concentración influente	Concentración Pretratamiento	Valor propuesto: Concentración efluente
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	130.0	91.0	50.0
Sólidos suspendidos	mg/l	245.0	123.0	50.0
Demanda química de oxígeno	mg/l	300.0	210.0	160.0
Nitrógeno total	mg/l	25.0	25.0	18.0
Fósforo total	mg/l	8.5	8.5	5.0
Coliformes fecales	nmp/100ml	210,000,000.0	210,000,000.0	1,000.0

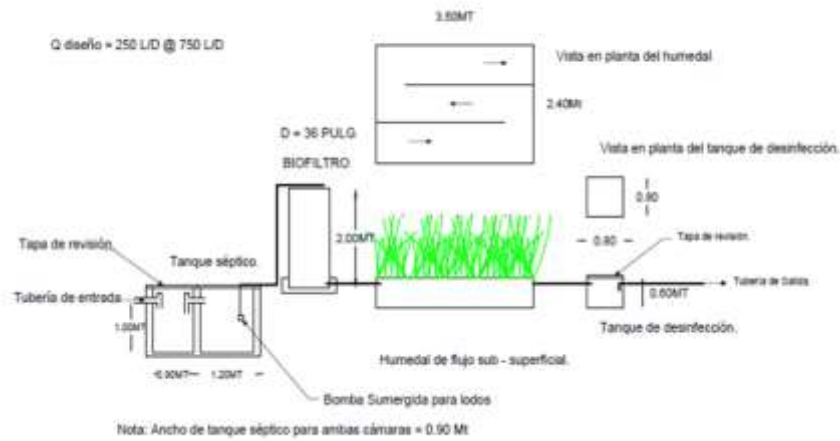
Fuente: Elaboración propia.

Para el material filtrante en el Biofiltro, se colocará aserrín de pino, fibras de coco (Cocos nucifera), y trozos de Ficus benjamín (laurel de la india), debido a que poseen una adecuada característica fisicoquímica potencial para la biofiltración y a su fácil acceso en el mercado local. En esta investigación por razones de costos económicos y facilidad en el orden de la construcción de la infraestructura, se seleccionará un área para el humedal de 8.4 m², con el objetivo de alcanzar los valores propuesto de efluente para los parámetros de la demanda biológica de oxígeno, solidos suspendidos, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y de fosforo total.

En relación a la remoción de los coliformes fecales se utilizará el método de cloración para la desinfección del agua efluente del biosistema. La especie vegetal que utilizara el humedal artificial

será la *Typha domingensis* por su capacidad de asimilación de nutrientes, el consumo de agua y la tolerancia a la salinidad. En el caso del biofiltro sobre un lecho orgánico, se utilizará una profundidad de 2.00 m con el propósito de lograr una remoción de cuatro logaritmos para los coliformes fecales.

Imagen1. Dimensiones del Biofiltro – Humedal



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2. Biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales objeto de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

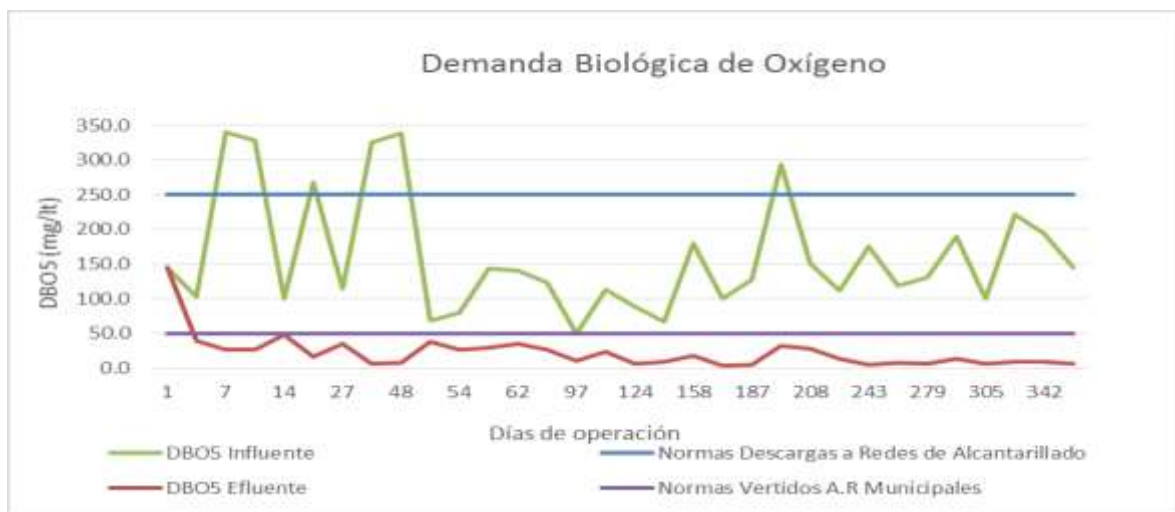
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para verificar el funcionamiento del Biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales fue necesario el muestreo y análisis de laboratorio, para determinar la funcionalidad o no del sistema, durante un período de 358 días desde la puesta en marcha. Al efectuar el análisis de agua residual en la entrada y salida del Biofiltro - Humedal, para determinar la eficiencia del

sistema, se tomaron en cuenta los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, nitrógeno amoniacal, color, turbiedad, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes fecales y totales.

I. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5): Es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos, se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia promedio de remoción de DBO5 de 85 %, y una máxima de 95%, durante el intervalo de tiempo analizado.

Gráfica 1. Valores influente, efluentes de DBO5.



Fuente: Elaboración propia

En referencia a los valores máximos de DBO5 permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales, el sistema cumple con el valor establecido en la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras, como se muestra en la gráfica 1. En este Biosistema para el Tratamiento de las Aguas Residuales de origen doméstico, se evidencia que la materia orgánica se descompone por la acción de microorganismos aerobios presentes. En los casos en los que la carga de DBO es elevada, las bacterias se reproducen rápidamente lo que permite al sistema mantener la eficiencia. En este sentido, la aplicación continua de cargas excesivas de DBO, tiene como resultado el fallo del sistema.

II. Sólidos suspendidos: Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia promedio de remoción de sólidos suspendido de 94 %, y una máxima de 97%, durante el intervalo de tiempo analizado.

Gráfica 2. Valores influente, efluentes de Sólidos Suspendidos.

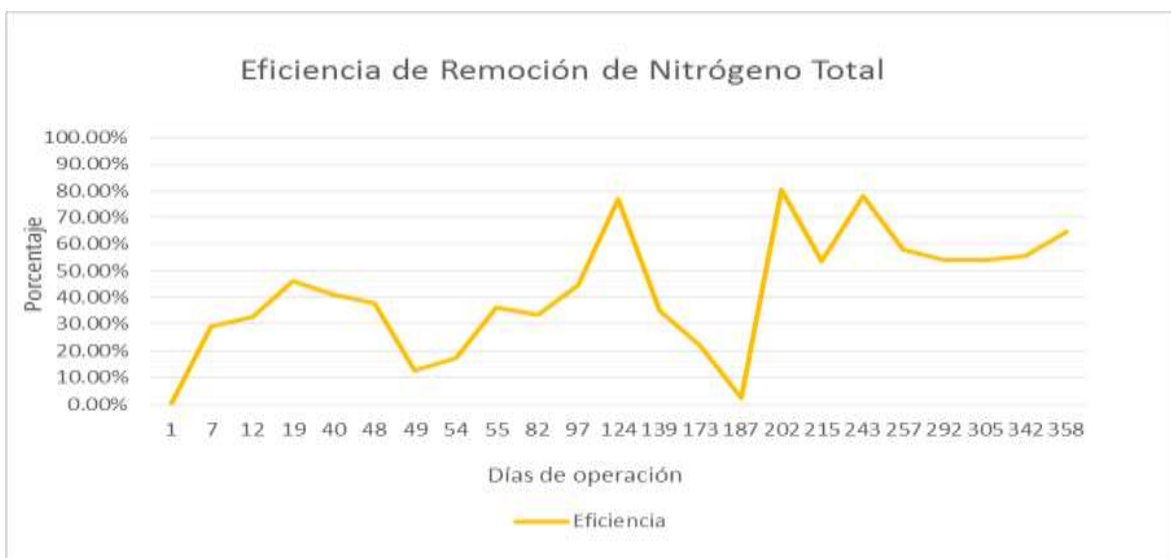


Fuente: Elaboración propia.

En referencia a los valores máximos de sólidos suspendidos permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales, el sistema cumple con el valor establecido en la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras, como se muestra en la gráfica 2. Una excesiva carga de sólidos suspendidos en el agua residual tiene tendencia a obstruir o sellar las superficies de infiltración de estos sistemas, de modo que es preciso diseñarlos y explotarlos de forma que se minimice la pérdida de capacidad de infiltración.

III. Nitrógeno Total: El conocimiento del contenido de nitrógeno en sus variadas formas resulta de gran interés. Así, por ejemplo, cuando un agua destinada a consumo humano presenta nitrógeno orgánico, o nitrógeno amoniacal, es indicio de contaminación fecal reciente, lo cual es una alerta sobre su peligrosidad (Menéndez y Pérez, 2007).

Gráfica 3. Eficiencia de remoción de Nitrógeno Total.

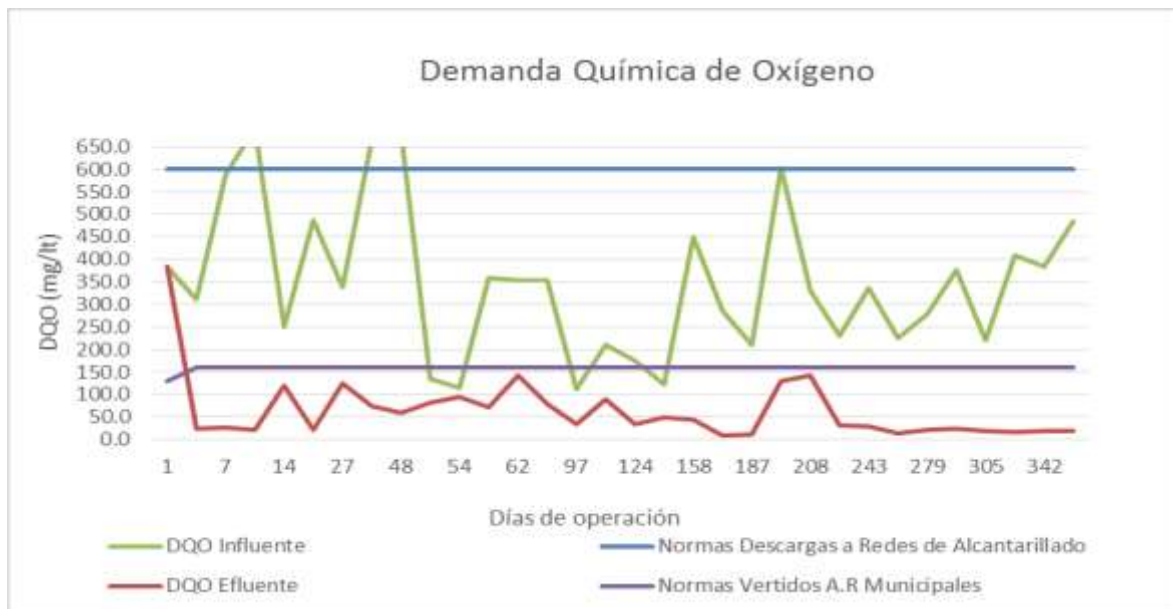


Fuente: Elaboración propia.

En aquellos casos en los que sea necesario el control del crecimiento de algas en los cuerpos de agua receptora para preservar los usos a que se destina, será necesario la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido. El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia promedio de remoción de nitrógeno total de 44 %, y una máxima de 76%, durante el intervalo de tiempo analizado.

IV. Demanda Química de Oxígeno (DQO): El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar químicamente la materia orgánica presente. El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia promedio de remoción para la demanda química de oxígeno de 80 %, y una máxima de 96%, durante el intervalo de tiempo analizado.

Gráfica 4. Valores influente, efluentes de DQO.



Fuente: Elaboración propia.

En referencia a los valores máximos de la demanda química de oxígeno permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales, el sistema cumple con el valor establecido en la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control De Descargas A Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario Y Aguas Costera, como se muestra en la gráfica 4.

V. Fósforo Total: El conocimiento del contenido de fósforo de las aguas residuales reviste interés, pues este elemento constituye un factor imprescindible para la vida de los organismos acuáticos.

La presencia de compuestos de fósforo en cursos receptores induce el crecimiento de algas. Estas afectan de forma notable la calidad de las aguas ya que pueden ser el origen de toda una secuencia de fenómenos, dado que este elemento es el limitante para el desarrollo de estas formas de vida (Menéndez y Pérez, 2007).

El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia promedio de remoción de fósforo total de 52 %, y una máxima de 76%, durante el periodo analizado.

Gráfica 5. Eficiencia de remoción de Fosforo Total.

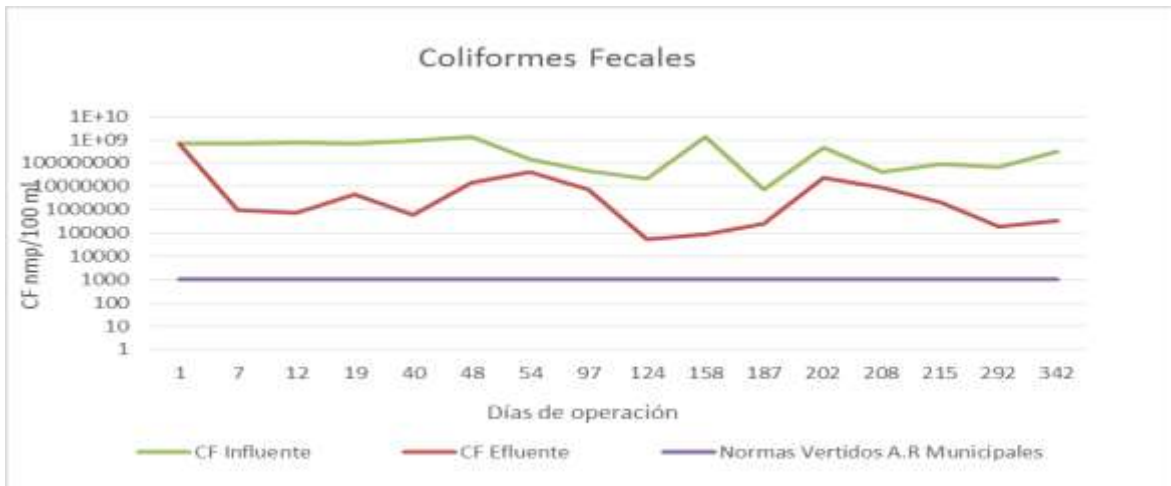


Fuente: Elaboración propia.

En referencia a los valores máximos de fósforo total, permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales, la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control De Descargas A Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario Y Aguas Costera, no establece límites para descarga, en sistema cuya población atendida sea inferior a 10,000 habitantes. La concentración de fósforo total en el influente y efluente del Biosistema se presentan en la gráfica 5. Los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen en el Biosistema Natural para el Tratamiento de las Aguas Residuales son la adsorción y precipitación química, aunque las plantas utilizadas en el humedal también consumen parte del fósforo presente en el agua residual.

VI. Coliformes Fecales: Su número en el agua es directamente proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. El Biofiltro Humedal a pesar de no haberse contemplado este parámetro para el dimensionamiento del sistema, presenta una eficiencia promedio de remoción de coliformes fecales de 95 %, y una máxima de 99.99%, durante el intervalo de tiempo analizado.

Gráfica 6. Valores influente, efluentes de coliformes fecales.

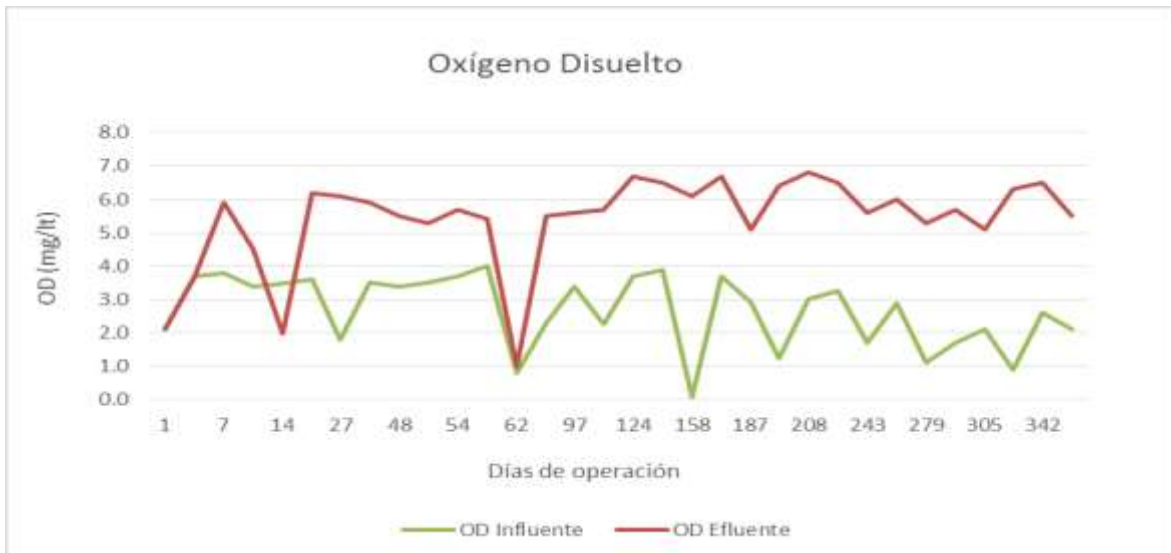


Fuente: Elaboración propia.

En relación a la remoción de los coliformes fecales se utilizó el método de cloración para la desinfección del agua efluente del Biosistema, para poder cumplir con el valor establecido en la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control De Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras.

VII. Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida.

Gráfica 7. Valores influente, efluentes de oxígeno disuelto.



Fuente: Elaboración propia.

El Biofiltro Humedal diseñado presenta una eficiencia de aumento en la concentración de oxígeno disuelto en el agua tratada de 132 %, y una máxima de 380 %, durante el periodo analizado.

6. CONCLUSIONES

En este acápite se presentan las conclusiones detalladas con la finalidad de implementar un biosistema natural para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el municipio de Santiago de los Caballeros.

En la investigación presentada, y sobre la base de los datos obtenidos, hemos determinado que el Biosistema propuesto para la purificación de las aguas residuales responde adecuadamente al comportamiento previsto en el diseño, y que es una tecnología válida para el tratamiento de las aguas residuales, presentando una eficiencia promedio de remoción de demanda biológica de oxígeno de 85 %, sólidos suspendidos de 94 %, y para la demanda química de oxígeno de 80 %. En este sentido y en referencia a los valores máximos permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales, el sistema cumple con los valores establecidos para poblaciones menores de 5,000 habitantes, en la Norma Dominicana Ambiental Sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras.

El Biosistema Natural para el Tratamiento de las Aguas Residuales de origen doméstico, presenta adecuada eficacia en la eliminación de contaminantes para el cumplimiento de los límites máximos establecidos en la norma de descargas de aguas residuales. Posee importantes ventajas ambientales tales como la integración paisajística y formación de ecosistemas, además de que no genera ruido y produce oxígeno. El Biosistema permite tratar variaciones significativas durante cortos periodos de tiempo de concentración de contaminantes en el influente, demanda una capacitación sencilla para su operación, básicamente de poda y disposición de la vegetación, si la topografía lo permite no demanda energía eléctrica, por lo que su economía de funcionamiento se constituye en su base más importante de sostenibilidad, ya que en la República Dominicana el 37% de los sistemas de tratamiento de aguas residuales registrados se encuentran fuera de operación, y el 78% de los que están en servicio, no cumplen los requisitos de descarga especificados en las normas.

El Biofiltro - Humedal requiere un mayor tiempo de retención hidráulica, lo que equivale a una mayor demanda de terreno que los tratamientos convencionales. Los componentes biológicos del Biosistema son sensibles a sustancias químicas agresivas que pueden producir inhibición microbiana y la extinción de la parte vegetal del humedal con la consecuente pérdida de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales. La aplicación continua de cargas excesivas de contaminantes, tiene como resultado el fallo del sistema, asimismo es necesaria para la supervivencia de las especies macrófitas una mínima cantidad de agua.

Para obtener un funcionamiento apegado a los patrones de diseño, debe controlarse las características del influente, evitando descargas de aguas residuales con trazas industriales que, de ser por periodos prolongados, provocaran el colapso del Biosistema. Adicionalmente es importante establecer un programa de poda de la especie vegetal *Typha* para lograr obtener un 40% promedio en la remoción de nitrógeno y fósforo.

Sobre la base de los resultados obtenidos durante los 360 días de operación del Biosistema, hemos determinado que la eficiencia global para el tratamiento de las aguas residuales, con relación a la remoción de los parámetros de demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendido, y de la demanda química de oxígeno, se sitúan en un rango del 80% al 94%, y que estos se mantuvieron estables desde el inicio de la operación de Biosistema.

La calidad del efluente producido en el Biofiltro – Humedal permite ser descargada en los cuerpos receptores, sin afectar significativamente la calidad del agua de los mismos y que se ajusta a los requerimientos de las normativas dominicanas de descargas de aguas residuales, además de que permite contemplar su reúso en el riego de áreas verdes de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

En la investigación presentada hemos determinado que el Biosistema natural es una alternativa segura, eficaz y adecuada para el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, ya que se comprobó la viabilidad y adaptabilidad del Biosistema Natural para su implementación en el tratamiento de aguas residuales de pequeñas comunidades y proyectos de viviendas individuales que se desarrollan en el municipio de Santiago de los Caballeros, garantizando la sostenibilidad y eficiencia en la depuración de las aguas residuales domésticas, por sus bajos costos de operación y mantenimiento, comparados con los sistemas convencionales de tratamiento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Granados, A. (2012). Experiencia en el Tratamiento de aguas residuales en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Buelna, G., Garzón-Zuñiga, M. A., & Moeller, G. (2011). Los biofiltros de empaque orgánicos: una alternativa simple, robusta y eficiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. *Ide@s CONCYTEG*, 6(71), 540-555.
- Delgadillo, O., Pérez, L., Camacho, A., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba (Bolivia), Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua).
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Garzón-Zuñiga, M. A., Lessard, P., & Buelna, G. (2003). Determination of the hydraulic residence time in a trickling biofilter filled with organic matter. *Environmental Technology*, 24(5), 605-614.
- Garzón-Zuñiga, M., Lessard, P., Aubry, G., & Buelna, G. (2005). Nitrogen elimination mechanisms in an organic media aerated biofilter treating pig manure. *Environmental Technology*, 26(4), 361-372.

- Kadlec, R., & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands* (2 ed.). Boca Raton (Florida), CRC Press, Taylor & Francis Group.
- IDACyONM (2011). Boletín turístico septiembre 2011. Santo Domingo, Instituto Dominicano de Aviación Civil y la Oficina Nacional de Meteorología.
- ITRC. (2003). *Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands*. Washington D.C., The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team.
- Medina Mazari, A. (2012). Efecto de la granulometría sobre el desempeño de un sistema de biofiltración utilizando material orgánico. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. (2007). *Procesos para el tratamiento de aguas residuales industriales*. La Habana, Cuba, Universidad Félix Valera.
- Metcalf, E. & Eddy, H.P. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización* (Vol. Tercera). Madrid, McGraw-Hill.
- ONE (2010). IX censo nacional de población y vivienda 2010. Informe General (Vol. I). Santo Domingo, Oficina Nacional de Estadística.
- Quezada, A. C. (2006). *Efemerides meteorologicas dominicanas*. Santo Domingo, ACQweather.
- Salas, J., Pidre, J., & Sánchez, L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Sevilla: CENTA.
- Sánchez, D. (2013). *Diseño y modelización de humedales para el tratamiento de efluentes de depuradora. Aplicación en el entorno del parque nacional de Las Tablas de Daimiel*. Castilla La Mancha, Universidad de Castilla-La Mancha.
- Valdez, E., & Vázquez González, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales* (Primera ed.). México, Fundación ICA.