

Artículo científico

Utilización de alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpín dorado (*Carassius auratus*), como tratamiento terciario en efluentes de una laguna facultativa**José Manuel Aguilar Quezada**Ingeniero Civil. MSc. Ingeniería Sanitaria ERIS, USAC, Guatemala
Dirección para recibir correspondencia: joma_aguilar1991@hotmail.com
Recibido 04.10.2018 Aceptado 16.10.2018**Resumen**

Las aguas tratadas provenientes del efluente de una laguna facultativa utilizada para el tratamiento secundario de las aguas residuales de origen doméstico de la colonia Aurora II en la planta de tratamiento de aguas residuales Arturo Pazos Sosa, pueden ser reusadas en un tratamiento terciario mediante la utilización de alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpín dorado (*Carassius auratus*). En este artículo, se presentan los resultados de la investigación utilizando un sistema de estanques a pequeña escala con alevines de carpa común y carpín dorado, configurados en paralelo donde el caudal proveniente del efluente de la laguna facultativa del tratamiento secundario fue distribuido equitativamente a cada uno de los estanques, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de diseño de 76 minutos aproximadamente. Cada estanque contenía 25 alevines por tipo, esto con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros de calidad del agua seleccionados. Se determinaron ocho muestreos de calidad del agua en la entrada y salida del tratamiento terciario durante cuatro meses. Las muestras simples o puntuales se tomaron cada quince días, para un total de treinta y dos muestras. Para evaluar la eficiencia de remoción del tratamiento terciario fueron seleccionados tres parámetros principales, siendo estos la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el fósforo total y los coliformes fecales. La eficiencia de remoción de los alevines de carpa común fue de 8.86% para la DBO₅, 7.13% para el fósforo total y 7.46% para los coliformes fecales. La eficiencia de remoción de los alevines de carpín dorado fue de 7.69% para la DBO₅, 7.97% para el fósforo total y 8.47% para los coliformes fecales. La eficiencia en la remoción de los parámetros evaluados por la presencia de los alevines fue menor al 10.0%, por tal razón no se recomienda la utilización de peces como tratamiento terciario, sin embargo, pueden ser utilizados como bioindicadores capaces de demostrar que la calidad del agua en los efluentes de la laguna facultativa es buena.

Palabras claves. Aguas residuales, bioindicador, eficiencia de remoción, estanque, piscicultura, planta piloto.

Abstract

The treated waters from the effluent of a facultative lagoon used to the secondary treatment of domestic wastewaters from the Aurora II colony in the wastewater treatment plant Arturo Pazos Sosa, can be reused in a tertiary treatment by using common carp (*Cyprinus carpio*) and golden carp (*Carassius auratus*) fingerlings. In this article, the results of the research are presented using a small-scale ponds system with common carp and golden carp fingerlings, configured in parallel where the flow coming from the effluent facultative lagoon of the secondary treatment was distributed equitably to each of the ponds, with a hydraulic retention time (HRT) design of approximately 76 minutes. Each pond contained 25 fingerlings per type, this in order to evaluate the removal efficiency of selected water quality parameters. Eight water quality sampling were determined at the input and at the output of tertiary treatment for 4 months. The simple or punctual samples were taken every fifteen days, for a total of thirty-two samples. To evaluate the removal efficiency of the tertiary treatment were selected three main parameters, being the biochemical oxygen demand (DBO₅), total phosphorus and fecal coliforms. The removal efficiency of the common carp fingerlings was of 8.86% to DBO₅, 7.13% to total phosphorus and 7.46% to fecal coliforms. The removal efficiency of the golden carp fingerlings was of 7.69% to DBO₅, 7.97% to total phosphorus and 8.47% to fecal coliforms. The efficiency in the removal of the parameters evaluated by the presence of the fingerlings were less than 10.0%, for this reason the use of fish as tertiary treatment is not recommended, however, they can be used as bioindicators capable of demonstrate that the water quality in the effluents of the facultative lagoon is good.

Keywords. Wastewater, bioindicator, removal efficiency, pond, pisciculture, pilot plant.

Introducción

Para la realización de esta investigación se consideró la utilización de alevines de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpín dorado (*Carassius auratus*), como tratamiento terciario en efluentes de una laguna facultativa, como alternativa de reuso de las aguas residuales establecida en el acuerdo gubernativo 236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos".

Con la utilización de alevines de carpa común y carpín dorado se esperaba mejorar la eficiencia de remoción de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua residual del efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales "Arturo Pazos Sosa". Por tal razón fue necesario realizar el muestreo para conocer las características del agua residual en el efluente de la laguna facultativa.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, aún no han profundizado en realizar estudios con el reuso de las aguas residuales para la utilización de peces por lo que se dio la oportunidad de abrir una línea de investigación.

El diseño del tratamiento terciario se elaboró a escala piloto, por medio de la construcción de tres estanques abastecidos con agua residual proveniente de una laguna facultativa. Las dimensiones fueron determinadas con las recomendaciones del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA). Los alevines se utilizaron principalmente porque consumen menor cantidad de oxígeno disuelto en las aguas residuales que un pez adulto, esto con el fin de facilitar su adaptación al medio. El tiempo de retención hidráulica de cada uno de los estanques del tratamiento terciario fue de 76 minutos.

Se consideran tres parámetros principales durante el desarrollo de la investigación, siendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), el fósforo total y los coliformes fecales. Para los alevines de carpa común la eficiencia de remoción en el tratamiento terciario fue de 8.86% para la DBO_5 , 7.13% para el fósforo total y 7.46% para los coliformes fecales. En el caso de los alevines de carpín dorado la eficiencia de remoción en el tratamiento terciario fue de 7.69% para la DBO_5 , 7.97% para el fósforo total y 8.47% para los coliformes fecales.

Antecedentes

Durante el siglo XIX, en Alemania aparecen las primeras investigaciones científicas sobre las características de las aguas residuales en piscicultura, con ello los estanques piscícolas fueron implementados

en las lagunas de estabilización de aguas residuales, debido a la falta de alimentación provocada por la segunda guerra mundial.

Otros países como India e Israel obtuvieron grandes resultados reutilizando las aguas residuales en estanques piscícolas aumentando la producción de peces. Esto despertó el interés de Estados Unidos de América en el uso de los efluentes de las aguas residuales para piscicultura, coincidiendo con el apogeo de las lagunas de estabilización y estanques de oxidación utilizados para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico.

La Organización Panamericana de la Salud consideró la necesidad de estudiar y fomentar el sistema de lagunas de estabilización, como una de las alternativas más viables para tratar las aguas residuales en los países latinoamericanos. Donde los bajos costos de tratamiento podrían ser absorbidos total o parcialmente por actividades productivas, como la acuicultura. Con esos estudios fue posible definir las condiciones ambientales de las lagunas como satisfactorias, para la supervivencia y crecimiento de peces, principalmente carpa común (*Cyprinus carpio*), carpín dorado (*Carassius auratus*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*).

El acuerdo gubernativo 236-2006 en el capítulo VII, parámetros de aguas para reuso, en el artículo 34, indica que el reuso de agua residual para piscicultura debe ser tipo III, y en el artículo 35 se definen los parámetros y límites máximos permisibles para reuso. Es competencia del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales velar por el cumplimiento del Reglamento para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente en Guatemala.

Descripción del área de estudio

En el año 1974 la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos crea la planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales, con el fin primordial de apoyar las investigaciones de los programas de maestría. La planta de tratamiento se encarga de sanear las aguas residuales de origen doméstico, mediante sistemas de tratamiento por filtros percoladores, reactor anaerobio de flujo ascendente, lagunas de estabilización, entre otros. Las aguas tratadas provienen de la colonia Aurora II, ubicada en la zona 13 de la ciudad de Guatemala, con coordenadas geográficas 14°34'41.70"N, 90°32'11.70"O, figura 1.

Figura 1. Ubicación de PTAR Aurora II “Arturo Pazos Sosa”



De las lagunas de estabilización de la planta de tratamiento de aguas residuales “Arturo Pazos Sosa” se utilizó el efluente de la laguna facultativa correspondiente al tratamiento secundario. Básicamente una laguna facultativa es un estanque usualmente excavado e impermeabilizado, con el fin de dar tratamiento a las aguas residuales. Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos fermentativamente, y por último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.

Metodología

Para implementar la utilización de alevines de carpa común y carpín dorado en las aguas residuales como tratamiento terciario, fue necesario enfocarse en evaluar la eficiencia de remoción de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua residual del efluente de la laguna facultativa de la planta de tratamiento de aguas residuales “Arturo Pazos Sosa”. Para ello se realizó la medición del caudal, se determinó la época de monitoreo y se realizó el premuestreo para conocer las características del agua residual en el efluente de la laguna facultativa.

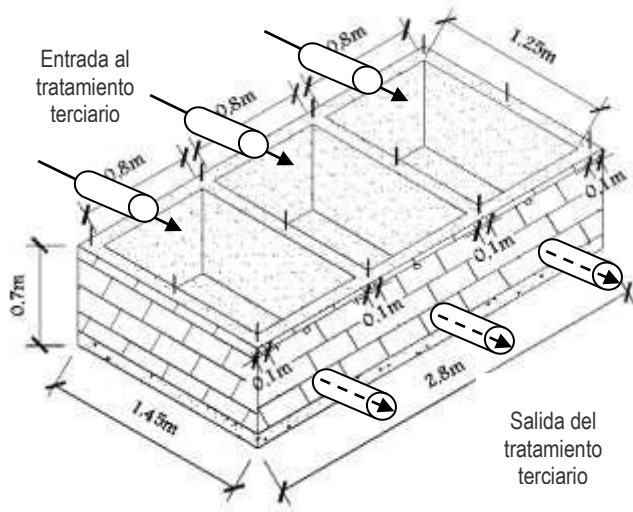
Con base a lo anterior, se determinó que el tipo de muestra sería simple o puntual y que el número de muestras a realizar en total sería de 32, una en la entrada del tratamiento terciario, y una para cada especie de pez implementada, haciendo un total de

cuatro muestras. El tratamiento terciario fue monitoreado de forma quincenal durante cuatro meses, haciendo un total de ocho muestreos y cumpliendo con las 32 muestras puntuales. Los parámetros seleccionados para efectos del estudio fueron: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes fecales, potencial de hidrogeno (pH), sólidos totales, nitratos y nitritos.

El diseño del tratamiento terciario se elaboró a escala piloto, se construyó un sistema con tres estanques abastecidos con agua residual tratada proveniente de una laguna facultativa. Para la determinación de las dimensiones de las unidades se consideraron las recomendaciones del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, indicando que deberían utilizarse 25 alevines de carpa común y carpín dorado, respectivamente, en un metro cuadrado de superficie con profundidad mínima de 50 centímetros. La utilización de alevines fue principalmente por el consumo del oxígeno disuelto en las aguas residuales facilitando de esa manera su adaptación al medio. En la figura 2 se muestran los estanques utilizados en el tratamiento terciario con un tiempo de retención hidráulica de 76 minutos.

Se analizó la tasa de mortalidad y letalidad de los peces, para verificar su adaptabilidad a las características del efluente de la laguna facultativa.

Figura 2. Estanques utilizados en el tratamiento terciario



Parámetro	Concentración de entrada	Concentración de salida	Eficiencia de remoción
Sólidos totales disueltos (mg/L)	377.6	360.9	4.42%
Fósforo total (mg/L)	6.0	5.5	7.13%
Nitritos (mg/L)	0.1	0.1	4.19%
Nitratos (mg/L)	5.8	5.5	4.78%
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.9	3.6	7.77%

En la tercera y cuarta columna de la tabla 2, se presenta la concentración de salida y la eficiencia de remoción promedio del tratamiento terciario utilizando alevines de carpín dorado, respectivamente.

Tabla 2. Eficiencia de remoción promedio alevines de carpín dorado

Parámetro	Concentración de entrada	Concentración de salida	Eficiencia de remoción
DBO ₅ (mg/L)	37.4	34.5	7.69%
DQO (mg/L)	202.6	194.1	4.19%
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	62.0	56.8	8.47%
Potencia de hidrógeno (pH)	8.0	7.7	3.31%
Sólidos totales disueltos (mg/L)	377.6	361.0	4.40%
Fósforo total (mg/L)	6.0	5.5	7.97%
Nitritos (mg/L)	0.1	0.1	4.65%
Nitratos (mg/L)	5.8	5.4	5.43%
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.9	3.6	8.72%

Resultados experimentales

Los resultados experimentales obtenidos que representan la concentración promedio de las aguas residuales en la entrada a los estanques del tratamiento terciario se presentan en la segunda columna de las tablas 1 y 2.

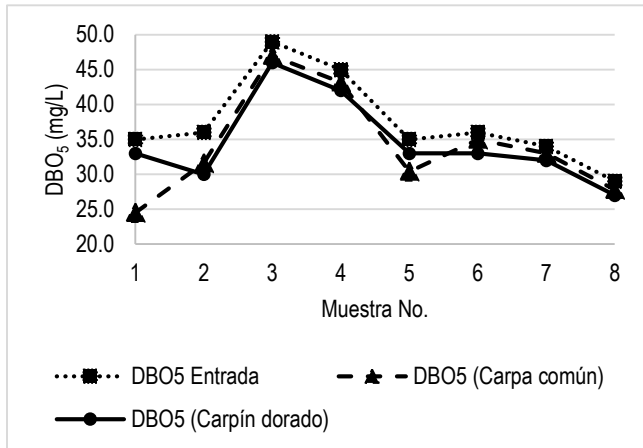
En la tercera y cuarta columna de la tabla 1, se presenta la concentración de salida y la eficiencia de remoción promedio del tratamiento terciario utilizando alevines de carpa común, respectivamente.

Tabla 1. Eficiencia de remoción promedio alevines de carpa común

Parámetro	Concentración de entrada	Concentración de salida	Eficiencia de remoción
DBO ₅ (mg/L)	37.4	34.1	8.86%
DQO (mg/L)	202.6	195.7	3.40%
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	62.0	57.4	7.46%
Potencia de hidrógeno (pH)	8.0	7.8	2.06%

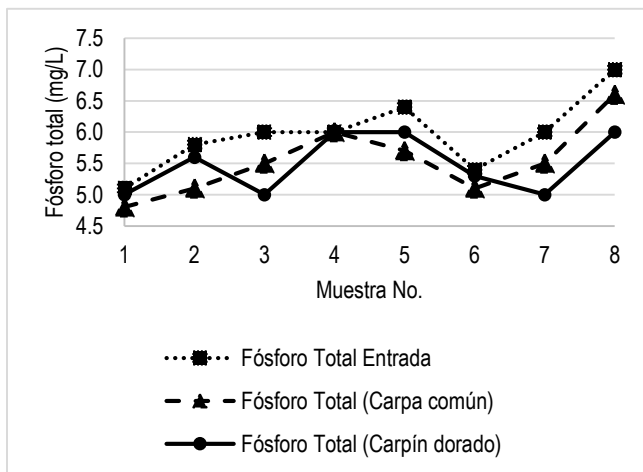
En la figura 3 se muestra el comportamiento de la DBO₅ en la entrada y salida del tratamiento terciario.

Figura 3. Comportamiento de la DBO₅ en la entrada y salida del tratamiento terciario



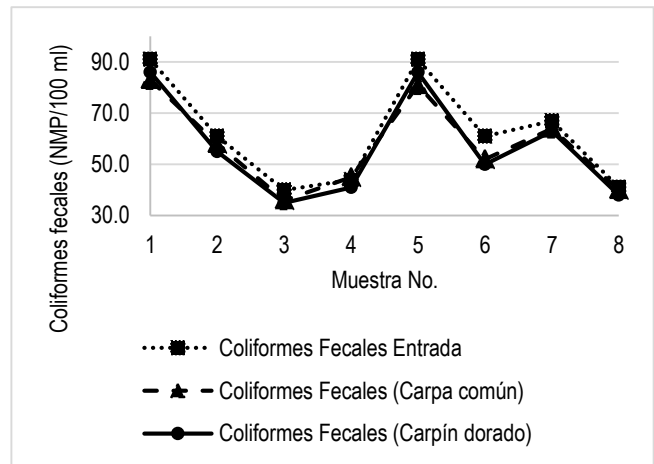
En la figura 4 se muestra el comportamiento del fósforo total en la entrada y salida del tratamiento terciario.

Figura 4. Comportamiento del fósforo total en la entrada y salida del tratamiento terciario



En la figura 5 se muestra el comportamiento de los coliformes fecales en la entrada y salida del tratamiento terciario.

Figura 5. Comportamiento de los coliformes fecales en la entrada y salida del tratamiento terciario



Como se observa en las figuras 3, 4 y 5, la DBO₅, el fósforo total y los coliformes fecales, presentan una pequeña disminución, esto debido a que los peces necesitan alimentarse del medio en el que viven, además considerando que el tiempo de retención hidráulica es corto en los estanques, los desechos de los peces no contribuyen en la alteración de los parámetros de calidad del agua residual. La presencia de los peces aporta una mínima reducción en los parámetros del efluente de la laguna facultativa.

Tasa de letalidad y mortalidad particular

Es necesario calcular la tasa de mortalidad y letalidad de los peces, esto para verificar si se adaptaron a las características del efluente de la laguna facultativa y a la vez, ser un parámetro confiable en la obtención de los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros analizados.

A continuación, se presenta la tasa de mortalidad y letalidad para los alevines de carpa común y carpín dorado.

Tasa de mortalidad particular (carpa común)

$$m_{cc}(\%) = \frac{\text{núm. de muertes (carpa común)}}{\text{núm. de peces (carpa común)}} \times 1\,000$$

$$m_{cc}(\%) = \frac{3}{25} \times 1\,000 = 120 \text{ de cada } 1\,000$$

Tasa de letalidad particular (carpa común)

$$L_{cc}(\%) = \frac{\text{núm. de muertes (carpa común)}}{\text{núm. de peces (carpa común)}} \times 100$$

$$L_{cc}(\%) = \frac{3}{25} \times 100 = 12 \text{ de cada } 100$$

Tasa de mortalidad particular (carpín dorado)

$$m_{cd}(\%) = \frac{\text{núm. de muertes (carpín dorado)}}{\text{núm. de peces (carpín dorado)}} \times 1\,000$$

$$m_{cd}(\%) = \frac{5}{25} \times 1\,000 = 200 \text{ de cada } 1\,000$$

Tasa de letalidad particular (carpín dorado)

$$L_{cd}(\%) = \frac{\text{núm. de muertes (carpín dorado)}}{\text{núm. de peces (carpín dorado)}} \times 100$$

$$L_{cd}(\%) = \frac{5}{25} \times 100 = 20 \text{ de cada } 100$$

Análisis de resultados

La segunda columna de las tablas 1 y 2 contiene la concentración promedio de las aguas residuales en la entrada al tratamiento terciario. En el artículo 35 del acuerdo gubernativo 236-2006 se definen los parámetros y límites máximos permisibles para reuso según el tipo. Para reuso Tipo III los parámetros a cumplir son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y los coliformes fecales, con límites máximos permisibles de 200 mg/L de DBO₅ y no aplica para coliformes fecales, por tal razón el agua residual del efluente de la laguna facultativa cumple con el reglamento y pudo implementarse la utilización de peces.

Los alevines de carpa común y carpín dorado al utilizarse en condiciones adversas de supervivencia, alimentación y crecimiento, sobrevivieron alimentándose de la materia contenida en el agua residual dentro de los estanques del tratamiento terciario, por tal razón, contribuyeron en la mejora de la calidad del agua en la unidad de tratamiento, según los porcentajes de la eficiencia de remoción mostrados en la cuarta columna de las tablas 1 y 2.

Fueron considerados tres parámetros principales durante el desarrollo de la investigación, siendo estos la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el fósforo total y los coliformes fecales. Para los alevines de carpa

común la eficiencia de remoción en el tratamiento terciario fue de 8.86% para la DBO₅, 7.13% para el fósforo total y 7.46% para los coliformes fecales. En el caso de los alevines de carpín dorado la eficiencia de remoción en el tratamiento terciario fue de 7.69% para la DBO₅, 7.97% para el fósforo total y 8.47% para los coliformes fecales, en la cuarta columna de las tablas 1 y 2 se presenta la eficiencia de remoción promedio de los alevines de carpa común y carpín dorado, respectivamente.

En las figuras 3, 4 y 5 se muestra el comportamiento en la entrada y salida del tratamiento terciario de la demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total y coliformes fecales, debido a la presencia de alevines de carpa común y carpín dorado. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) mediante un estudio realizado demostraron que la presencia de peces en sistemas lagunares mejoró la calidad del agua del efluente en un 38.0% para la demanda bioquímica de oxígeno, 3.0% para el fósforo total y 15.0% para coliformes fecales; sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en este artículo con los estudios realizados por CEPIS/OPS, se comprueba que la presencia de alevines de carpa común y carpín dorado mejoran la calidad del agua, pero no con las eficiencias de remoción esperadas ya que en ese estudio se utilizaron peces directamente en las lagunas de estabilización, y no como un tratamiento terciario independiente.

Las tasas de mortalidad y letalidad son importantes a la hora de verificar si las especies utilizadas se adaptaron a las características del efluente de la laguna facultativa y comprobar la confiabilidad en la obtención de los porcentajes de eficiencia de remoción de los parámetros analizados. Para los alevines de la carpa común durante el desarrollo de la investigación murieron 3 de 25, obteniendo una tasa de mortalidad de 120 por cada 1 000 y una tasa de letalidad de 12 por cada 100. Para los alevines de carpín dorado, murieron 5 de 25, obteniendo una tasa de mortalidad de 200 por cada 1 000 y una tasa de letalidad de 20 por cada 100. Estos resultados indican que los alevines de carpa común y carpín dorado se adaptaron satisfactoriamente a las características del efluente de la laguna facultativa.

Antes de definir el reuso del agua residual deberá consultarse el acuerdo gubernativo 236-2006 para identificar el tipo de agua residual, definir los parámetros y límites máximos permisibles y

compararse con los resultados de la caracterización del efluente propuesto para reuso.

Es posible utilizar peces en las lagunas facultativas y aerobias, tomando en cuenta que la calidad del agua debe ser la adecuada para que los peces puedan desarrollarse de manera segura. Usualmente pueden utilizarse luego del tratamiento secundario, donde la calidad del agua mejora considerablemente.

Conclusiones

Con base en los resultados de la caracterización del efluente de la laguna facultativa y al compararlos con los artículos 34 y 35 del acuerdo gubernativo 236-2006, se determinó que el agua correspondía al tipo III: reuso para acuicultura. Al analizar la concentración promedio de 37.4 mg/L de DBO₅ y de 62 NMP/100 mL de coliformes fecales, con los límites máximos permisibles de 200 mg/L para la DBO₅ y considerando que no aplica para coliformes fecales, se cumplió con los requerimientos del reglamento y pudo implementarse la utilización de alevines de carpa común y carpín dorado.

La implementación de alevines de carpa común y carpín dorado como tratamiento terciario mejora la calidad del agua del efluente de la laguna facultativa, no obstante, al observar la eficiencia de remoción de los parámetros se comprobó que está por debajo de lo esperado, ya que inicialmente se esperaba una remoción del 20.0% en la demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total y coliformes fecales.

La utilización de alevines de carpa común y carpín dorado como tratamiento terciario, no es recomendable si se espera remover parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, ya que presentan eficiencias de remoción por debajo del 10.0%.

Agradecimientos

Al personal docente y administrativo de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), y a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional.

Referencias

Aguilar Quezada, José Manuel; Ordóñez Palma, Oscar Alberto, Utilización de peces como tratamiento terciario, en efluentes de una laguna facultativa. Trabajo de graduación de maestría,

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2017. 108 p.

Camacho, B. E, Luna R.C, Moreno, R. M, Guía para el cultivo de peces. México. SE-MARNAP, 2000. 136 p.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana de la Salud. Aspectos técnicos de la acuicultura con aguas residuales. Colombia: CEPIS/OPS, 1992. 190 p.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana de la Salud. Requerimientos de calidad del agua residual tratada para el cultivo de tilapia. CEPIS/OPS. 1992. 58 p.

International Center for Aquaculture And Aquatic Environments Auburn University. Introducción al cultivo de peces en estanques. Arizona. 1998. 10 p.

Reglamento de las descargas y reusos de las aguas residuales y la disposición de lodos. (Acuerdo Gubernativo 236 – 2006). Guatemala. 2006. 36 p.

Información del autor

Ingeniero civil, José Manuel Aguilar Quezada, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2014. Experiencia en el área de planificación de proyectos de agua potable, saneamiento ambiental, y tratamiento de aguas residuales por 4 años. Especialización en análisis estructural de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

MSc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.