

Artículo científico

Utilización de tilapia, *Oreochromis Niloticus*, como tratamiento terciario en efluentes de una laguna facultativa

Oscar Alberto Ordóñez Palma

Ingeniero Civil. MSc. Ingeniería Sanitaria USAC – ERIS

Dirección para recibir correspondencia: oscar_ordonez@fha.gob.gt

Recibido 06.03.2017 Aceptado 06.06.2017

Resumen

El tratamiento terciario del agua residual proveniente del efluente de las lagunas facultativas, por medio de la utilización de alevines de tilapia es una alternativa para la reutilización y máximo aprovechamiento de las aguas residuales. En el presente artículo se evaluó a escala piloto el desempeño de un sistema de estanques con alevines de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en serie para el tratamiento del efluente de las lagunas facultativas de la planta de tratamiento Arturo Pazos. El sistema construido en la salida de las lagunas facultativas consistió en tres estanques en serie con un tiempo de retención hidráulica de 75 minutos y cada uno de estos, con 25 alevines de tilapia. La evaluación se realizó en época seca de manera quincenal obteniendo un total de 32 muestras de la eficiencia de remoción generada por la tilapia. Los porcentajes de remoción de características físicas, sólidos totales y oxígeno disuelto, oscilaron entre 3,7% y 12,5 %; el contenido de DQO y DBO₅ alcanzó una remoción promedio de casi 10,0%. Por otro lado las eficiencias de remoción obtenidas en parámetros como coliformes fecales, potencial de hidrógeno, fosforo total y nitrógeno total fueron: 6,0%, 3,5%, 7,9% y 4,5% respectivamente. Con solo tres estanques de alevines de tilapia y con el efluente de las lagunas aun sin alcanzar eficiencias optimas de remoción, se aprecia que el tratamiento terciario propuesto presenta resultados de remoción relativamente bajos, sin embargo, la tilapia puede implementarse como bioindicador capaz de sobrevivir en estas aguas en proceso de tratamiento.

Palabras clave: Alevines, bioindicador, tratamiento terciario, estanques, laguna facultativa, remoción.

Abstract

The tertiary treatment of wastewater from the facultative pond effluent through the use of tilapia fry is an alternative for reuse and maximum utilization of wastewater. In this article, the performance of a pond system with tilapia fry *Oreochromis niloticus* in series for the treatment of the effluent of the facultative ponds of the Arturo Pazos treatment plant was evaluated at pilot scale. The system constructed at the exit of the facultative lagoons consisted of three ponds in series; each of them with 25 tilapia fry and with a hydraulic retention time of 75 minutes. The evaluation was performed in the dry season on a fortnightly basis, obtaining a total of 32 samples of the removal efficiency generated by tilapia. The percentages of removal of physical characteristics, total solids and dissolved oxygen, ranged from 3,7% to 12,5%; the content of DQO and DBO₅ reached an average removal of almost 10,0%. On the other hand the removal efficiencies obtained in parameters such as fecal coliforms, hydrogen potential, total phosphorus and total nitrogen were: 6,0%, 3,5%, 7,9% and 4,5%, respectively. With only three ponds of tilapia fry and with the effluent of the lagoons even without optimum removal efficiencies, it can be seen that the proposed tertiary treatment presents relatively low removal results, however tilapia can be implemented as a bioindicator capable of surviving in these waters in process of treatment.

Keywords: Fry, bioindicator, tertiary treatment, ponds, facultative lagoon, remotion,

Introducción

Actualmente una de las preocupaciones recientes es la utilización y máximo aprovechamiento del agua debido a la escasez que cada día afecta a todos, las aguas residuales pueden ser reutilizadas siempre y cuando la calidad sea la indicada para el propósito necesario. Los primeros reportes científicos sobre las propiedades de las aguas residuales en piscicultura aparecieron en Alemania

durante el siglo XIX, dando inicio al empleo de las lagunas de estabilización de las aguas residuales como estanques piscícolas, probablemente por causa de la escasez de alimentos durante la Segunda Guerra Mundial.

La tilapia como todo ser vivo necesita un ambiente con las condiciones adecuadas para existir, es por ello que realizar un muestreo es de gran importancia ya que se obtienen los parámetros con los cuales se puede determinar si los peces a

utilizar sobreviven a tales condiciones adversas. En la planta de Tratamiento Arturo Pazos se cuenta con un sistema de lagunas que cumple con el proceso de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico.

El Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala recomendó la utilización de 25 alevines de tilapia en un metro cuadrado de superficie con profundidad mínima de 50 centímetros, con el objetivo de ayudar a los peces con la cantidad de oxígeno disuelto en los estanques, basado en esto se implementó un sistema de entrada con flujo pistón, para que aportara de manera constante, y en forma de cascada valores aceptables de oxígeno disuelto y permitieran de mejor manera que los alevines de tilapia se adaptaran correctamente al ambiente de vida en los estanques.

Los parámetros a evaluar en esta investigación se determinaron con base al proyecto de investigación: "Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan, Lima, Perú" en el año 1991, elaborado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), con colaboración de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Las variables consideradas para realizar el análisis de la calidad del agua de la laguna que permitieron la correcta vida de los peces fueron; oxígeno disuelto, DBO₅, DQO, coliformes fecales, potencial de hidrógeno, sólidos totales, fósforo total, nitritos y nitratos.

Se observa que los porcentajes de remoción de características físicas, sólidos totales y oxígeno disuelto, oscilaron entre 3,7% y 12,5%; el contenido de DQO y DBO₅ alcanzó una remoción promedio de casi 10,0%. Por otro lado las eficiencias de remoción obtenidas en parámetros como coliformes fecales, potencial de hidrógeno, fosforo total y nitrógeno total fueron: 6,0%, 3,5%, 7,9% y 4,5% respectivamente.

Antecedentes

Los primeros reportes científicos sobre las propiedades de las aguas residuales en piscicultura aparecieron en Alemania durante el siglo XIX, dando inicio al empleo de las lagunas de estabilización de las aguas residuales como estanques piscícolas, probablemente por causa de la escasez de alimentos durante la Segunda Guerra Mundial. En la india e Israel se consiguieron valiosos resultados trabajando con la reutilización de aguas residuales en los estanques piscícolas aumentando la producción de peces. El interés de los Estados Unidos de utilizar efluentes de aguas residuales para piscicultura, coincidió con el creciente uso de los estanques de oxidación o lagunas de estabilización como proceso de tratamiento para aguas residuales domésticas.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Banco Mundial y la Agencia Alemana de Cooperación Técnica; llevan promoviendo desde 1983, proyectos de reuso en acuicultura de las

aguas residuales tratadas en lagunas de estabilización, con la finalidad de definir una tecnología de producción acuícola, que pueda absorber el costo de tratamiento de las aguas residuales en lagunas de estabilización, estos estudios permitieron definir que las condiciones ambientales de las lagunas son satisfactorias, para la supervivencia y crecimiento de peces tales como la tilapia, *Oreochromis niloticus*, y carpa común, *Cyprinus carpio*.

En Guatemala existe el Acuerdo Gubernativo número 236-2006, el cual establece el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos, el cual en su capítulo VII, parámetros de aguas para reuso, en su artículo 34 indica que el agua debe ser tipo III si se utiliza para acuicultura, es decir, para la crianza de peces, así también, en el capítulo 35 establece los parámetros y límites permisibles para ésta actividad.

Descripción del área de estudio

Con fines de apoyar a la docencia e investigación de los programas de maestría, la ERIS en 1974 crea la planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales "Ing. Arturo Pazos Sosa". En la actualidad ésta opera con sistemas a través de filtros percoladores, reactor anaerobio de flujo ascendente y lagunas de estabilización, entre otros. Consta de diversas unidades para el tratamiento de aguas residuales domésticas, provenientes de la colonia Aurora II, zona 13 ciudad de Guatemala, figura 1.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Las lagunas facultativas son las más utilizadas, ya que tienen la característica de poseer una zona superior aerobia y otra inferior anaerobia; también existe una zona de transición en donde viven las bacterias facultativas, cuya profundidad varía entre 1,0 y 2,0 metros. Estas lagunas se proyectan para tiempos de retención altos y cargas orgánicas bajas, con respecto a la eficiencia de remoción de materia orgánica, además alcanzan un valor hasta el 85,0 y un 99,9 % en lo referido a la remoción de bacterias coliformes.

La tilapia como todo ser vivo necesita un ambiente con las condiciones adecuadas para existir, es por ello que realizar un

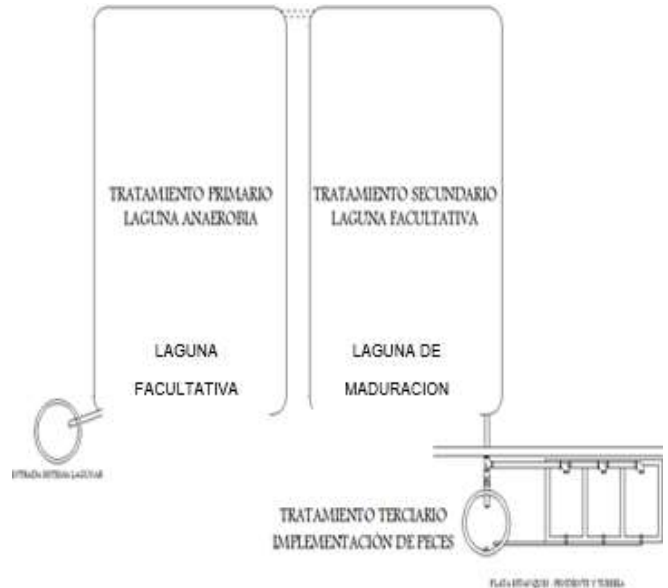
pre-muestreo es de gran importancia ya que se obtiene los parámetros con los cuales se puede determinar si los peces a utilizar sobreviven a tales condiciones adversas. A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis físico-químico del agua proveniente de la laguna de maduración en la planta piloto Arturo Pazos.

Para obtener resultados fiables en la presente investigación, se efectuó la evaluación del efluente tomando en cuenta parámetros requeridos por CEPIS/OPS. Este artículo se enfoca en conocer las ventajas o desventajas que pueden existir al utilizar la tilapia como tratamiento terciario en la fase final de las lagunas de estabilización, donde se espera que esto sirva como un indicador de la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Metodología

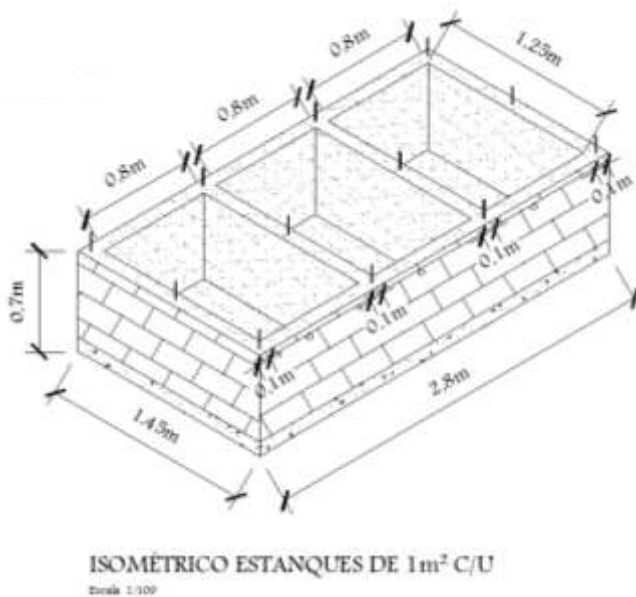
Este trabajo se realizó a escala piloto y consistió en la construcción de un sistema de tres estanques en los cuales se recirculaba el agua proveniente de las lagunas de estabilización, figura 2, se utilizaron alevines de tilapia debido a su mejor adaptabilidad a sobrevivir a las aguas residuales, el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala recomendó la utilización de 25 alevines de tilapia en un metro cuadrado de superficie con profundidad mínima de 50 centímetros, con el objetivo de ayudar a los peces con la cantidad de oxígeno disuelto en los estanques, se implementó un sistema de entrada con flujo pistón, para que aportara de manera constante, y en forma de cascada valores aceptables de oxígeno disuelto y permitieran de mejor manera que los alevines de tilapia se adaptaran correctamente al ambiente de vida en los estanques. El sistema de estanques se puso en funcionamiento en el mes de febrero, se realizó muestreos quincenales hasta el mes de abril, cuando se pudo observar estabilidad en los parámetros. Durante el periodo de muestreo predominó el tiempo seco con temperaturas que oscilaron entre 17 y 24 °C.

Figura 2. Esquema de los estanques implementados



El sistema de tratamiento consistió en tres estanques en serie de 70,0 cm de altura, con 25 alevines, figura 3, los cuales se construyeron con mampostería reforzada para evitar que sufrieran fallas que afectarían la adaptabilidad de la tilapia con el medio. La regulación de caudales se realizó mediante la implementación de flujo pistón para mantener un nivel constante, para lograr un tiempo de retención en la cámara de 75 minutos, en el pre-muestreo de la salida de las lagunas facultativas se pudo determinar que el agua aun no cumplía con las eficiencias recomendadas para parámetros físicos y químicos.

Figura 3. Estanques para implementación de tilapia como tratamiento terciario



Se realizaron 4 muestras puntuales una vez por quincena durante cuatro meses hasta alcanzar un número total de 32 muestras, con el fin de evaluar la calidad del agua y los indicadores de calidad que permiten que la tilapia se adapte y sobreviva al medio de vida analizado, el monitoreo quincenal será para determinar la calidad del agua utilizada en la fase experimental y garantizar que el agua mantenga una calidad adecuada para la sobrevivencia de los peces.

Resultados experimentales

Con la intención de obtener resultados fiables y apegados a las condiciones del estudio experimental, se recopilaron muestras en cada punto de interés de estudio, siendo estos, la entrada a los 3 estanques, tabla 1, y en cada salida de estos respectivamente.

En la tabla 2 se observan los porcentajes promedio de remoción de cada uno de los parámetros analizados por la presencia de la tilapia.

Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales en la entrada a los 3 estanques

Parámetro	Concentración
DBO ₅ (mg/L)	29,0
DQO (mg/L)	186,0
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	41,0
pH	7,8
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)	339,0

Parámetro	Concentración
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	7,0
NITRÓGENO TOTAL (mg/L)	0,06
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	5,9
DBO ₅ (mg/L)	4,2

Tabla 2. Promedios de remoción debido a los alevines de tilapia

Parámetro	Tilapia	Salida Estanques
DBO ₅ (mg/L)	12,99 %	28,0
DQO(mg/L)	5,83 %	183,0
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	5,99 %	40,0
pH	3,56 %	7,0
SÓLIDOS TOTALES (mg/L)	3,72 %	331,0
FÓSFORO TOTAL (mg/L)	7,86 %	7,0
NITRÓGENO TOTAL (mg/L)	4,48 %	0,053
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	12,45 %	5,7

Tasa de mortalidad particular de la tilapia

$$m_G(\%) = \frac{\text{núm. de muertes (tilapia)}}{\text{núm. de peces (tilapia)}} \times 1000$$

$$m_G(\%) = \frac{2}{25} \times 1000 = 80 \text{ de cada } 1000$$

La tasa de mortalidad particular se refiere a la proporción de peces con una característica particular que mueren respecto al total de peces que tienen esa característica.

Como se muestra en las figuras 4 y 5, el oxígeno disuelto y los sólidos totales sumergidos, presentan una tendencia a disminuir debido a que los peces necesitan de ellos para garantizar su supervivencia, la reducción de estos parámetros se debe a la alimentación de la tilapia, hay que tener en cuenta que al ser un periodo de retención relativamente corto en los estanques, las heces de los peces no perjudicaron la calidad del agua, y como se observa en las figuras, aportaron una mínima reducción en estos parámetros del efluente.

Figura 4. Comportamiento oxígeno disuelto

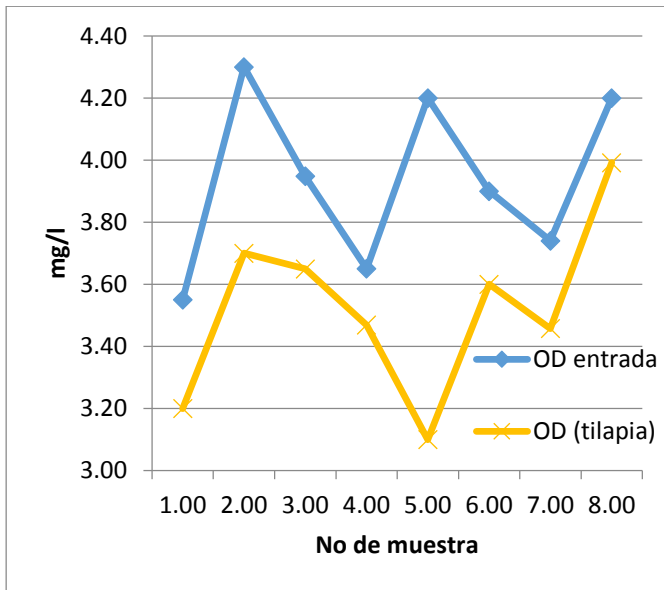
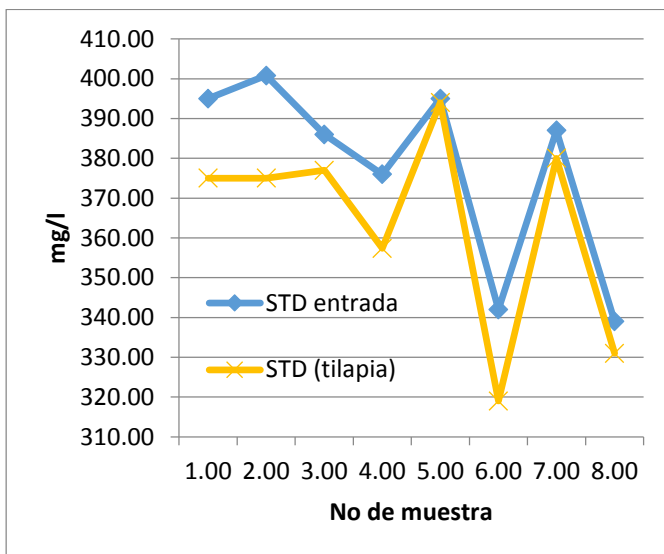


Figura 5. Comportamiento Sólidos totales disueltos



Análisis de resultados

Según el estudio realizado se puede observar una tendencia de remoción aportada por la tilapia en los estanques con aguas provenientes de las lagunas facultativas, en donde, considerando que esta se encontraba en condiciones no óptimas de crecimiento, se benefició de los nutrientes que estaban en el agua residual y redujeron, en cierta manera, sus características.

En base a los porcentajes de mortalidad calculados anteriormente se observa que de los 25 alevines de tilapia utilizados en los estanques como tratamiento terciario, únicamente murieron 2

alevines, m_G (‰) 80 de cada 1000, por lo que se aprecia que los peces se adaptaron correctamente a las condiciones del efluente de las lagunas de estabilización y a la vez significó un parámetro de fiabilidad en la obtención de los porcentajes de eficiencia en los parámetros analizados.

En la tabla 2 se observan los porcentajes de remoción de características físicas, específicamente sólidos totales y oxígeno disuelto, que oscilaron entre 3,7% y 12,5 %; el contenido de DQO y DBO₅ alcanzó una remoción promedio de casi 10%. Por otro lado, las eficiencias de remoción obtenidas en parámetros como coliformes fecales, potencial de hidrógeno, fósforo total y nitrógeno total fueron: 6,0%, 3,5%, 7,9% y 4,5% respectivamente.

Para implementar el uso de peces en plantas de tratamiento de agua residual, especialmente en el proceso posterior a las lagunas facultativas, es necesario conocer que la eficiencia de remoción estará en función de la cantidad de peces que se utilicen, en donde a mayor cantidad de peces existan, será necesario implementar una forma de alimentación para que la especie pueda reproducirse.

En los estudios realizados por CEPIS/OPS, la presencia de peces en lagunas de estabilización mejora la calidad del agua del efluente para DBO₅, un promedio del 38,0 %, para el fósforo total 3,0 % y para coliformes totales 15,0 %; al comparar esos resultados con los obtenidos en este artículo, se puede comprobar que efectivamente la presencia de peces mejora la calidad del agua, sin embargo, existe una diferencia en los resultados, ya que los estudios de CEPIS/OPS utilizaron los peces directamente en las lagunas de estabilización, por lo que como tratamiento terciario presentó un porcentaje de remoción más bajo lo cual no hace viable su utilización para tal fin, sin embargo, pueden implementarse como bioindicadores capaces de sobrevivir en estas aguas tratadas.

Conclusiones

Al comparar los valores iniciales de concentración mostrados en la tabla 1, con los resultados de la tabla 2, se observa una reducción de los mismos en características físicas, sólidos totales y oxígeno disuelto, de 331,0 mg/L y 4,0 mg/L; el contenido de DQO y DBO₅ alcanzó unos valores de 183,0 y 28,0 mg/L. Por otro lado los resultados finales en parámetros como coliformes fecales, potencial de hidrógeno, fósforo total y nitrógeno total fueron: 40,0 NMP/100 ml, 7,0, 7,1 y 5,43 mg/L respectivamente.

Se comprobó que la presencia de tilapia como tratamiento terciario mejora la calidad del agua proveniente de la laguna facultativa, sin embargo, como se logra observar en los resultados, la eficiencia está por debajo del 20 % esperado para la remoción de DBO₅, fósforo total y coliformes fecales.

La reducción de coliformes totales se presentó en un porcentaje de 5,9% a 7,8 %, los peces dentro de su proceso de alimentación consumen parte del grupo coliforme total, incluyendo los coliformes fecales, es por ello que si utilizan los peces con fines de cultivo es necesario evaluar su calidad, dependiendo del número de bacterias en sus músculos.

La implementación de tilapia como tratamiento terciario en aguas residuales domésticas puede ser útil para determinar la calidad del efluente, sin embargo, si se desea implementar con el objetivo principal de remover parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas residuales, la eficiencia máxima esperada podrá ser de hasta el 10,0% y no es recomendable para tal propósito.

La eficiencia del tratamiento terciario alcanzó un promedio de eficiencia de remoción de 7,1%, por lo que no cumplió con las expectativas generadas al principio de la investigación, sin embargo, se pudo concluir que la tilapia es el pez que mejor resultados de eficiencia en la remoción proporcionó, debido a su facilidad de adaptación a los ambientes críticos, esto provocó la reducción de hasta el 10,0 % de DBO₅, fósforo total y coliformes fecales.

La implementación de la tilapia se puede llevar a cabo en procesos de tratamiento donde el origen las aguas descargadas es doméstico, ya que los peces al igual que todo ser vivo necesita de cantidades adecuadas de oxígeno disuelto, sólidos totales, DBO₅ y nutrientes para sobrevivir.

Agradecimientos

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y al laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Doctora Alba Estela Tabarini Molina", que hicieron posible la elaboración de esta investigación.

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
- 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.
- Camacho, B. E, Luna R.C, Moreno, R. M, Guía para el cultivo de peces. México. SE-MARNAP, 2000. 136 p.
- Reglamento de las descargas y reúsos de las aguas residuales y la disposición de lodos. (Acuerdo Gubernativo 236 – 2006). Guatemala. 2006. 36 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.

Información del autor

Ingeniero Civil, Oscar Alberto Ordóñez Palma, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2012. Con experiencia en el área de docencia de cursos correspondientes a mecánica de fluidos, ingeniería sanitaria, y tratamiento de aguas residuales por 5 años.

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