

Artículo científico

Producción de lodos per cápita, en lagunas de estabilización, de aguas residuales domésticas.**Autor: Jorge Daniel Baca Chiroy**

Ingeniero Civil. Msc. Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC-Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: construdesa@gmail.com

Recibido: 06.05.2019 Aceptado 30.05.2019

Resumen

Este artículo presenta el tema de la producción de lodos de aguas residuales domésticas, en las lagunas de estabilización de la planta piloto Ing. Arturo Pasos Sosa, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el sistema en serie de dos lagunas, siendo la primera facultativa y la segunda de maduración, con el fin de determinar la producción de lodos per cápita. La estimación del volumen total de lodos sedimentados y su distribución espacial se determinó realizando batimetría, la cual fue desarrollada con una cuadrícula con cuadros de un metro por un metro, sobre los cuales se realizó la medición de alturas. Para la laguna facultativa se realizaron 736 mediciones de altura de lodos, y en la laguna de maduración se realizaron 768 mediciones de altura. Se determinaron las zonas de mayor acumulación de lodos sedimentados analizando el comportamiento de la sedimentación en relación a la longitud total de la laguna. Se obtuvo un valor de producción de lodos de 0.075 m³/hab/año. El tiempo de operación para el análisis de las lagunas de estabilización, en la fecha del estudio fue de 12 años (2,004 - 2,016) a partir de su construcción y operación.

Palabras clave: Procesos Biológicos, Nutrientes, batimetría, carga superficial, retención hidráulica, materia orgánica.

Abstract

This article presents the issue of the production of domestic sewage sludge, in the stabilization lagoons of the pilot plant Ing. Arturo Pasos Sosa, of the ERIS Sanitary Engineering Regional School of the University of San Carlos of Guatemala, in the system in series of two lagoons, being the first facultative and the second of maturation, in order to determine the production of sludge per capita. The estimation of the total volume of sedimented muds and their spatial distribution was determined by performing bathymetry, which was developed with a grid with squares of one meter by one meter, on which the measurement of heights was made. For the facultative lagoon, 736 measurements of mud height were made, and 768 height measurements were made in the maturation lagoon. The zones with the highest accumulation of sediment sludge were determined by analyzing the behavior of the sedimentation in relation to the total length of the lagoon. A sludge production value of 0.075 m³ / inhabitant / year was obtained. The operation time for the analysis of the stabilization ponds, on the date of the study was 12 years (2,004 - 2,016) from its construction and operation.

Key words: Biological Processes, Nutrients, bathymetry, surface charge, hydraulic retention, organic matter.

Introducción

El objetivo del artículo es presentar el cálculo de la producción de lodos en las lagunas de estabilización facultativa y de maduración durante los 12 años de operación y funcionamiento, para determinar la producción per cápita de lodos por año, para sistemas con esta tecnología. Así como la caracterización de los mismos.

Realizando la batimetría se obtuvo el volumen total de los lodos sedimentados y la distribución espacial en cada laguna.

El sistema de lagunas en la planta Aurora II, fue diseñado y construido en el año 2004, de allí conocemos el caudal de diseño y por lo tanto la población a servir.

Conociendo la población y volumen de lodos total, se calculó la producción de lodos per cápita por año.

Se determinó el volumen de lodos sedimentados en cada laguna, la producción de lodos per cápita, y un análisis de las características de los lodos ya tratados

Antecedentes

Los lodos que producen las aguas residuales dependen de las características de las mismas y del tratamiento o tecnología utilizada y la operación de ésta.

Generalmente los lodos se sedimentan en mayor volumen en los tratamientos primarios, y en menor volumen, en los tratamientos secundarios. La cantidad depende de la unidad de tratamiento, la carga superficial, y el tiempo de retención hidráulica.

Los lodos secundarios se producen en los procesos biológicos y la cantidad depende de varios factores, como son, eficiencia del tratamiento primario, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y tipo de tecnología utilizada.

El volumen y las características de los lodos, dependen principalmente de su origen y las etapas en los sistemas de tratamiento que han recibido.

Estos lodos, son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos, que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua.

Están formados principalmente por agentes altamente contaminantes. Diariamente, se generan volúmenes de estos residuos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Lagunas facultativas

Son las lagunas que operan en su zona superior como lagunas aeróbicas, en su zona inferior como lagunas anaeróbicas, y en su zona intermedia con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamado zona facultativa. Suelen medir de 1.0 a 2.0 m. de profundidad.

El propósito de las lagunas facultativas es remover la DBO bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y la bacteria.

La laguna también contribuye a la remoción de patógenos a través del largo período de retención hidráulica, que permite la sedimentación de huevos de helmintos y la mortalidad de bacterias causada por el tiempo de retención hidráulica, por los rayos ultravioletas de la energía solar y el aumento en pH por las actividades de las algas.

Lagunas de maduración

Se utilizan como una segunda etapa de tratamiento a continuación de las lagunas facultativas. Son de poca profundidad, misma que varía entre 1.0 a 1.5 m., presentando buena oxigenación. Se diseñan para disminuir el número de organismos patógenos, ya que las bacterias y virus mueren en un tiempo razonable, mientras que los quistes y huevos de parásitos intestinales requieren más tiempo.

También reducen la población de algas. Generalmente son el último paso del tratamiento antes de descargarlas a cuerpos receptores finales o de ser utilizadas en la agricultura.

Además de la desinfección, contribuyen notoriamente a la nitrificación del nitrógeno amoniacal, la eliminación de nutrientes, la clarificación del efluente y en consecuencia un efluente bien oxigenado.

Acumulación de lodos en lagunas

La acumulación de lodos al fondo de una laguna puede afectar su funcionamiento, disminuyendo el volumen y por lo tanto el tiempo de retención hidráulica. Se debe calcular la acumulación en el diseño y se debe medir la acumulación en la operación y mantenimiento de una laguna para poder prepararse para la remoción de lodos.

Es recomendable que se considere en el diseño dos lagunas en paralelo, para poder secar una y remover los lodos acumulados mientras una segunda está en operación.

a. Procedencia de los lodos

Los lodos provenientes de las diferentes tecnologías de las unidades de tratamiento, presentan características diferentes dependiendo del origen de las aguas. Dichas características influyen en las propiedades de las biomásas. En este estudio se realizó la batimetría en las lagunas que tienen una operación de 12 años, obteniendo los volúmenes de sedimentación en cada laguna, siendo éstas: laguna facultativa 284.00 m³ y en la laguna de maduración 67.00 m³ con un total de lodos de 351.00 m³.

b. Características de los lodos

Los lodos se definen como una mezcla que contiene una fase sólida suspendida en un medio líquido, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento.

Los lodos de aguas residuales domésticas tienden a acumular una serie de metales y compuestos orgánicos. Están siempre presentes a concentraciones bajas, siendo estos: **Metales**, entre ellos podemos encontrar zinc, cobre, níquel, cadmio, plomo, mercurio y cromo, estos comienzan a ser tóxicos a medida que aumenta su concentración. **Nutrientes**, la peligrosidad de estos radica en su potencial de eutrofización en aguas subterráneas y superficiales, siendo el nitrógeno y el fósforo. **Contaminantes orgánicos**, estos pueden ser los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, presentes en los lodos. **Patógenos**, siendo estos, las bacterias, los parásitos y los virus.

Lodos producidos en tratamientos biológicos.

Los lodos de los sistemas de tratamiento son el resultado de la concentración de los sólidos contenidos en el tratamiento primario y secundario. La producción del lodo generado en los tratamientos biológicos de los sistemas de tratamiento está compuesta principalmente por microorganismos, y la otra parte por materia sólida. Generalmente, son de color marrón, y poseen poco olor. Son fáciles de deshidratar, generalmente en patios de secado de lodos, a través de filtración y secado al aire libre.

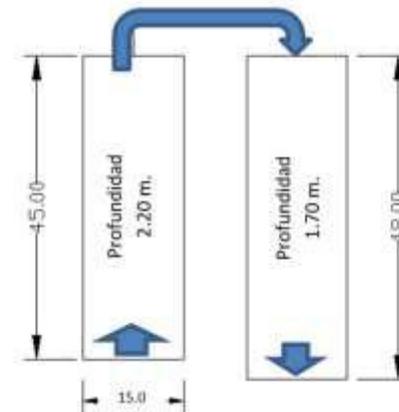
- Lodos producidos en tratamientos físico-químicos.

El uso de sistemas de tratamiento físico-químico, genera mayores volúmenes de lodo, así como características diferentes, al igual que los sistemas de tratamiento biológicos, depende de la tecnología utilizada. Generalmente son de color marrón y poseen poco olor.

Metodología

La laguna facultativa tiene 45.0 metros de longitud, 15.0 metros de ancho y una profundidad promedio de 2.20 metros. La laguna de maduración tiene 48.0 metros de largo, 15.0 metros de ancho y una profundidad promedio de 1.70 metros. El caudal de diseño es 0.5 l/s. La figura 1 muestra la dirección del flujo en las lagunas.

Figura 1 Esquema de lagunas y dirección del flujo



En la tabla 1, se indican los parámetros iniciales de la caracterización de las aguas residuales.

Tabla 1 Parámetros iniciales de las Aguas Residuales.

Parámetros de Afluente	
Qm	0.5 l/s
DBO	260 mg/l
DQO	466.6 mg/l
Sólidos Suspendidos	466.30 mg/l

Fuente: Calderón de León, Paul Alberto, Tesis ERIS 2014.

Batimetría

Se realizó la batimetría de la laguna facultativa y de maduración, con el siguiente procedimiento para ambas lagunas:

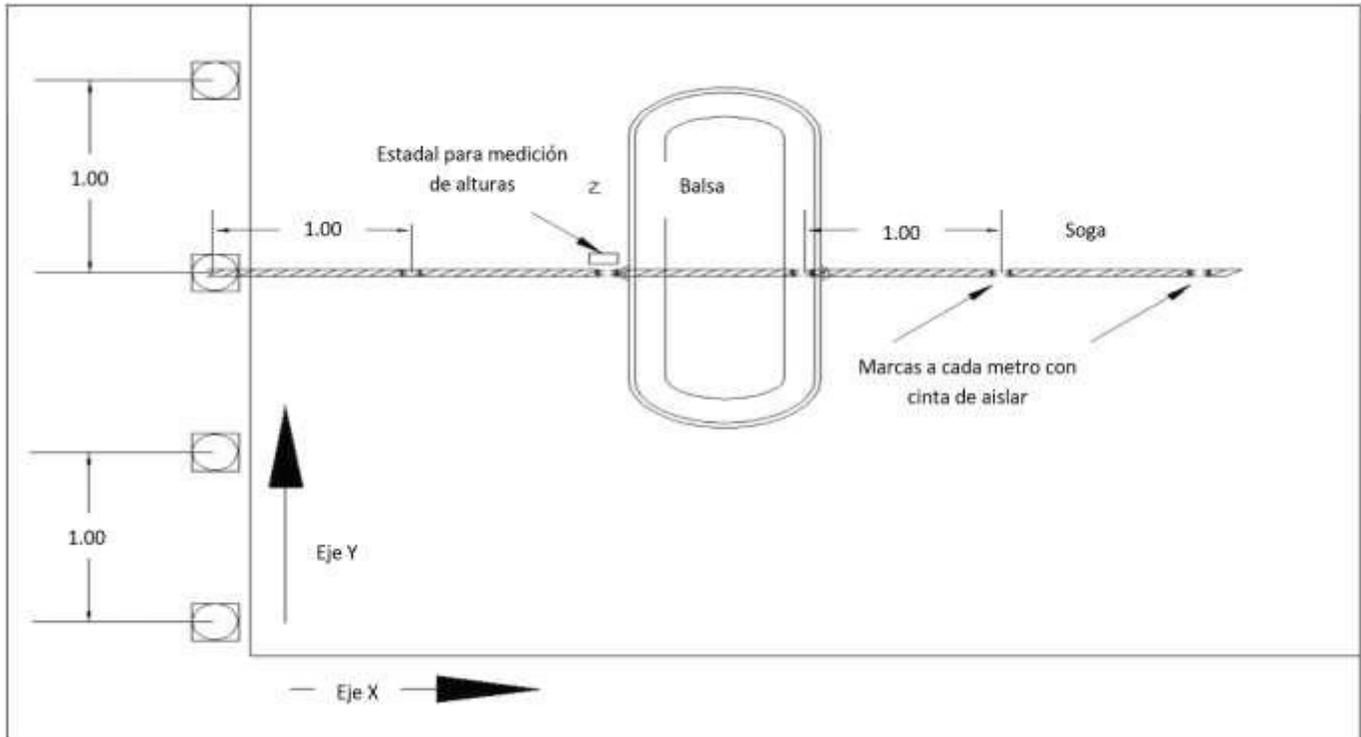
Como se muestra en la figura 2, el procedimiento fue colocar a los costados sobre el sentido más largo una marca a cada metro, para generar líneas horizontales en el sentido "X".

Se colocó una soga de extremo a extremo, con marcas a cada metro, para tener verticales en el sentido "Y", sobre la cual se desplazó una balsa y se procedió a la medición de la profundidad "Z", generando coordenadas "X, Y y Z".

La medición de la profundidad se realizó con un estadal, para medir alturas de agua sobre los lodos en cada coordenada X y Y hasta el espejo de agua. La

diferencia corresponde a la altura de lodos sedimentados en cada punto.

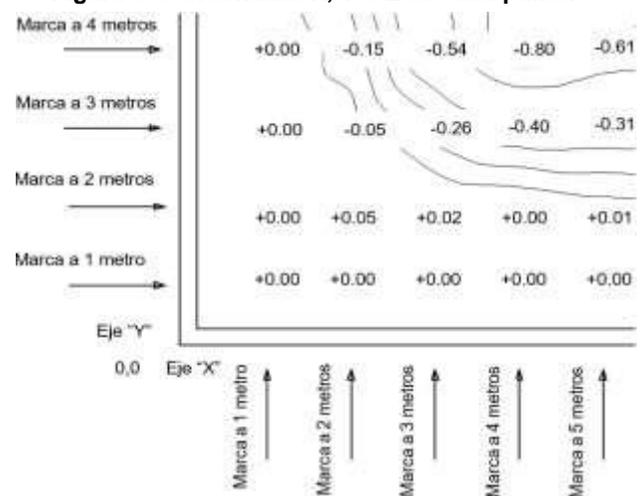
Figura 2. Medición altura de puntos Z



Para la laguna facultativa los puntos de medición de alturas fueron 736 y para la laguna de maduración 768. En cada una de ellas "X" representa la coordenada en el ancho de cada laguna, "Y" representa la coordenada en el largo, "Z" la altura de cada punto. Se generaron curvas de nivel y volúmenes de agua y lodos sedimentados. En base a ello se calculó el volumen total de lodos en cada laguna, así como la distribución espacial de sedimentación de los lodos.

En la figura 3, se muestran las alturas obtenidas en algunos puntos para indicar las coordenadas y las curvas generadas por los programas de computación, sobre los cuales se obtuvo el volumen sedimentado. Las curvas de nivel se generaron a una separación de 0.10 metros para obtener mayor precisión en el cálculo.

Figura 3 Coordenadas X, Y & Z de cada punto.



Volumen de Lodos Sedimentados

El volumen de lodos se determinó con la ayuda de programas de computación, TOPOCAL y AUTOCAD, luego de ingresar todos los puntos se generan curvas de nivel, se obtuvo el volumen de cada laguna. Las curvas de nivel presentan la distribución espacial de sedimentación.

La población que genera el caudal, se obtiene de los datos de diseño de las lagunas, construidas en el año 2004. Se estima una población de 393 personas, que determinan el caudal de diseño.

Resultados

a. Producción de Lodos

Tomado en cuenta la población de diseño, y el tiempo de operación se calculó la producción de lodo. El dato de la población se obtuvo del diseño de las lagunas construidas en el año 2004, el cual es de 393 habitantes y el lodo acumulado según la batimetría es de 351.00 m³ durante los 12 años de operación.

La tabla 2 indica el volumen total y el obtenido en cada laguna.

Tabla 2 Volumen total de lodos en lagunas de estabilización.

Componente	Vol. (m ³)
Laguna Facultativa	284.00
Laguna de Maduración	67.00
Volumen total	351.00

La producción de lodos per cápita es:

$$Plp = \frac{351.73 \text{ m}^3}{393 \text{ hab}} = 0.8950 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} \div 12 \text{ años} = 0.0746$$

$$\cong 0.075 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} / \text{año}$$

Equivalente a: $Plp = 75.0 \frac{\text{lbs}}{\text{hab}} \text{ año}$

b. Caracterización de Lodos

Se obtuvo una muestra simple en la zona de mayor altura para analizar en laboratorio las características del

mismo. La tabla 3 muestra los parámetros analizados que corresponden a los requeridos por el Reglamento 236-2006, en el Artículo 42. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos.

Tabla 3. Análisis Físico-Químico de lodos.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite Max
Arsénico	mg/kg	3.44	50
Cadmio	mg/kg	N.D.	50
Mercurio	mg/kg	N.D.	1500
Plomo	mg/kg	N.D.	25
Cromo	mg/kg	N.D.	500
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.6x10 ⁷	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	5.4x10 ⁶	-
Helmintos	-	NSO	-

Fuente: Laboratorio ECOSISTEMAS

c. Distribución Espacial de Sedimentación

A través de la información obtenida al procesar los datos, se generó curvas de nivel de los sólidos sedimentados y planos representativos.

Se puede observar en la tabla 4 que al primer tercio se alcanzó el 74.00% del volumen total de lodos sedimentados, 210.00 m³ de un total de 284.00 m³. Se muestran el porcentaje de la longitud y el volumen sedimentado por secciones para indicar el volumen acumulado a lo largo de la laguna Facultativa.

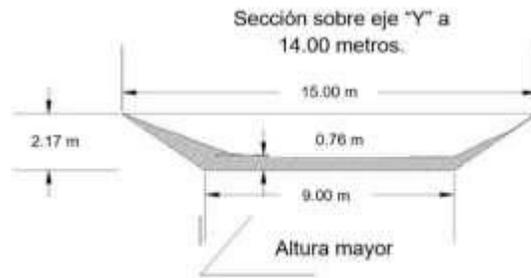
Tabla 4. Sección de mayor altura de lodos.

% (longitud de laguna)	Longitud	Vol. Lodos Sedimentados	% Volumen Acumulado
33	15	210	74.0
66	30	35	86.00

% (longitud de laguna)	Longitud	Vol. Lodos Sedimentados	% Volumen Acumulado
100	45	39	100.00

Se determinó que la altura máxima de lodos sedimentados está a 10 metros de la entrada del agua residual de la laguna facultativa con una altura de 0.75m de lodo. En la figura 5 indica la sección transversal en la zona de mayor altura.

Figura 4 Sección de mayor altura de lodos



En la figura 5 se puede observar en planta las curvas a nivel, las cuales indican visualmente la distribución espacial del lodo sedimentado.

La figura 6 muestra el perfil longitudinal de la laguna, indicando en color gris el volumen sedimentado.

Figura 5 Planta general de curvas a nivel de lodos

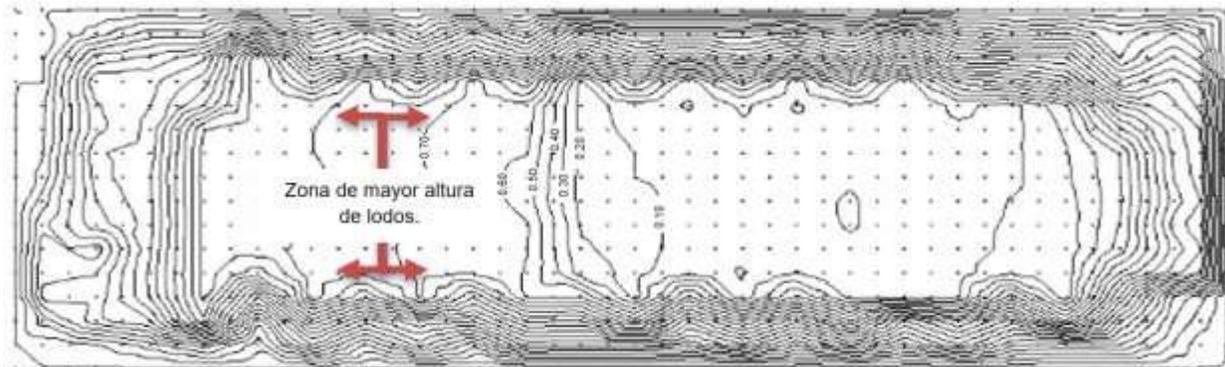
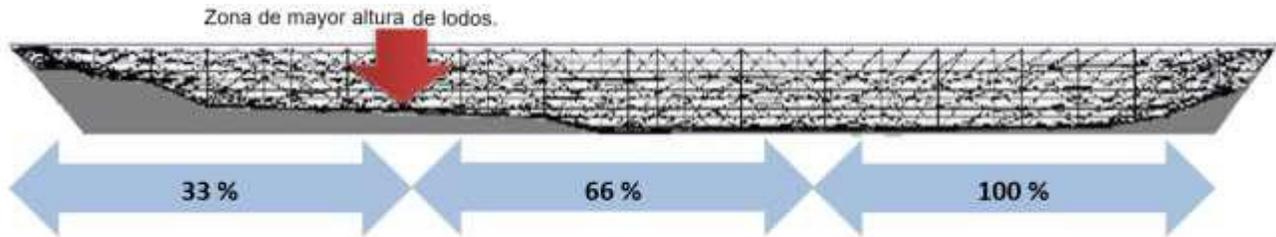


Figura 6 Sección Longitudinal



Análisis de resultados

a. Producción de Lodos

El valor de la producción de lodos per cápita fue de 75.0 l/hab/año. Dicho valor es mayor a los datos de bibliografías consultadas del año 1976 (Mara) y 1971 (Gloyma); por lo que, el valor obtenido puede utilizarse en condiciones similares a las del estudio para determinar volúmenes necesarios en sistemas de lagunas en Guatemala.

b. Caracterización de Lodos

Los resultados de los análisis de lodos realizados en el laboratorio, en todos los parámetros los límites están por debajo de los máximos permitidos, según el artículo 42. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos, del Reglamento 236-2006. Esto comprueba que los sistemas de tratamiento de lagunas de estabilización son eficientes para el tratamiento de los lodos producidos.

La figura 6 muestra el perfil longitudinal de la laguna, indicando en color gris el volumen sedimentado.

c. Distribución espacial de Sedimentación

El volumen de lodos alcanza el 74.00% del volumen total en el primer tercio de la longitud de las lagunas, esto es 210.00 m³ de un total de 284.00 m³ para la laguna facultativa. Con ello se comprueba que la sedimentación ocurre al inicio de las lagunas.

Conclusiones

El valor de la producción de lodos per cápita de 0.075 m³/hab/año, es superior al valor de la bibliografía consultada, la cual es de hace 45 años y de países europeos. El valor obtenido es propio de las condiciones y características de nuestro país.

El análisis de los lodos, cumple con todos los parámetros que establece el reglamento 236-2006, para su adecuada disposición, lo cual establece que los sistemas de lagunas de estabilización son muy eficientes para el tratamiento de aguas residuales y lodos.

La mayor distribución de sedimentación de lodos (74.00%) ocurre dentro del primer tercio de la longitud de las lagunas, en el sentido del flujo, comprobando que el tiempo de retención hidráulica y la relación largo ancho de las lagunas juega un papel muy importante en el diseño y por ende en el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, alargando la vida útil de las lagunas y aumentando su eficiencia.

El volumen total de lodos sedimentados fue de 351.00 m³. Lo cual establece el que el tiempo de vida útil de la laguna facultativa ha llegado a su fin, ya ha superado la altura máxima de lodos según el diseño (0.50 metros) y la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua a tratar, variando las zonas aerobias, facultativas y anaerobias, lo cual disminuye la eficiencia de tratamiento.

Referencias

- Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Guatemala 05 de mayo de 2006, "Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos".
- Baca Chiro, Jorge Daniel, (2019). Determinación del volumen de sólidos acumulados y la producción de sólidos *per cápita* en lagunas de estabilización, utilizando batimetría – caso de planta de tratamiento Aurora II. ERIS.
- Calderón de León, Paúl Alberto, (2014). Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. ERIS.
- Castellanos, Ramón y Romero, Manliá. (2004). Rehabilitación del sistema lagunar de la Planta Piloto "Ing., Arturo Pasos Sosa" y su aprovechamiento con fines de riego. ERIS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) Perú, Sistema de lagunas de estabilización, Editorial Mc. Graw Hill, 3ra Edición.
- Córdova V, Rocío, (2011). Guía para la Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación y Estabilización. Ecuador.
- Gómez V, Laura M, (2011). Uso de trazadores para determinar los tiempos de retención en las lagunas de la Planta Piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos "Ing. Arturo Pasos Sosa", ERIS.
- Gloyna, (1971). Earnest. waste stabilization ponds. world health organization monograph Senes No. 60, Genova.
- Mara, (1976). Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales.
- Menéndez, C. y Díaz, M. (2006). Lagunas, diseño, operación y control. España.
- Oakley, Stewar M. (1997) Manual de diseño, operación y mantenimiento para lagunas de estabilización en Honduras. Fondo Hondureño de Inversión Social- Unidad Generación de Empleo (FHIS/UGE) y Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Shwartz Guzmán, Fernando, (2003). Remoción de *Streptococcus Fecalis* en la planta de tratamiento de aguas residuales Aurora II, ERIS.

Información del autor

Jorge Daniel Baca Chiro. Graduado de ingeniero Civil en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) en el año 2001.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.