

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A TRAVÉS DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO (PLANTA PILOTO), EN EL DISTRITO ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT THROUGH THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MODULE (PILOT PLANT) IN DISTRICT OF ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA

Gelvi Peali-Maró Canales Manchuria¹ & Ángel Canales Gutiérrez²

¹ Universidad Alas peruanas, filial Arequipa; CE: gelvicm@hotmail.com

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano Puno; CE: acanales7@hotmail.com

Resumen

El proyecto se realizó en una vivienda familiar del distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa, durante junio a setiembre del 2013. Los objetivos fueron: a) Diseñar y estimar los costos económicos y funcionamiento del prototipo de tratamiento de aguas domésticas para un caudal de 50 m³/día; y b) Evaluar la eficiencia de remoción de coliformes totales de temperatura, pH, ORP, DBO₅, DQO, nitritos y fosfatos en el sistema de tratamiento diseñado. Se construyó un prototipo para el tratamiento de aguas domésticas a nivel experimental, con ladrillos, bandejas de PVC y conectados entre cada sistema con tubos PVC de ½ pulgada, todo el sistema funciona por gravedad. Los resultados muestran una disminución entre 17.2 a 100% de coliformes fecales, disminución desde 0.315 hasta 0.01 mg/L de nitritos (97.8% de remoción), estando dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), Categoría III de uso de riego de vegetales con tallo alto. En relación a fosfatos, se redujo desde 3.4 hasta 1.1 mg/L (67.6% de remoción), estando muy cercano al estándar ambiental de uso de agua en la categoría III. Asimismo, la DBO₅ disminuyó desde 454.4 hasta 112 mg/L (75.4% de remoción), mientras que la DQO disminuyó desde 1136 hasta 92 mg/L (91.9% de remoción), estando dentro de los ECAs Categoría III. En relación al pH estuvo entre 9.2 a 7.1, estando también dentro de los ECAs Categoría III. El costo aproximado de una planta de tratamiento para un volumen de 50 m³/día es de S/. 83,410.00 nuevos soles.

Palabras clave: Coliformes fecales, nitritos, DBO₅, DQO, planta de tratamiento.

Abstract

The project was conducted in a family house in the district of Alto Selva Alegre, Arequipa, from June to September 2013. The objectives were: a) To design and estimate the economic costs of operation of the prototype domestic water treatment for a flow of 50 m³/day and b) To evaluate treatment efficiency of total coliforms, temperature, pH, ORP, BOD₅, COD, nitrites and phosphates in the system of domestic water treatment. A prototype was built for domestic water treatment at an experimental level, with brick, PVC trays and connected between each system with PVC pipe ½, the whole system works by gravity. The results were: Fecal coliform decreased from a range of 17.2 to 100%. The nitrites decreased from 0.315 to 0.01 mg/L (97.8% of removal), agreeing to Environmental Quality Standards (EQS) Category III, related to use of irrigation plant with long stems. Phosphate was reduced from 3.4 to 1.1 mg/L (67.6% of removal) being very close to EQS Category III. BOD₅ decreased from 454.4 to 112 mg/L, and COD decreased from 1136 to 92mg/L, agreeing to EQS. Regarding the pH was between 9.2 and 7.1, still within the parameters of EQS. The approximate cost of a treatment plant for a volume of 50 m³/day is S/. 83,410.00.

Keywords: Fecal coliforms, nitrites, BOD, COD, treatment plant.

INTRODUCCIÓN

A nivel global se han desarrollado distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales para solucionar los problemas asociados a descargas no tratadas. Sin embargo, existe limitada información acerca del funcionamiento, operatividad y mantenimiento de dichos sistemas, impidiendo que muchas ciudades puedan acceder a la información y a las experiencias exitosas sobre tratamiento de aguas residuales para ciudades con poblaciones menos de 5,000 a 10,000 personas. Esta situación conduce a la implementación de sistemas inoperantes y al abandono de los existentes por parte de la comunidad (Villegas & Vidal 2009). Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales como las convencionales altamente mecanizadas, demandan de un gran consumo energético; sin embargo, remueven contaminantes mediante procesos que consumen grandes cantidades de energía, con tiempos de retención hidráulico cortos y requieren cantidades relativamente menores de terreno (Zurita *et al.* 2011). Por tal motivo, se han buscado implementar investigaciones a partir de procesos naturales, que permitan diseñar proyectos alternativos para el tratamiento de aguas con menores costos de construcción, energía y explotación (Ñique 2000).

Un sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por varios procesos dependiendo de los contaminantes presentes en el agua residual y el nivel de tratamiento que se requiere alcanzar. El diseño

de estos sistemas involucra la selección adecuada de los procesos del tratamiento buscando el sistema óptimo (Delgadillo *et al.* 2010). De acuerdo con Von Sperling (1996), Pérez (1998) y Carneiro (2000), las variables que se debe tener en cuenta para este análisis de atributos son: aspectos medioambientales, aspectos socioculturales de la comunidad donde se implementará el proyecto.

Las aguas residuales son responsables del 80% de la morbilidad en los países en vías de desarrollo, esta situación se encuentra relacionada con las bajas coberturas en alcantarillado y el inadecuado tratamiento y disposición final de las aguas residuales (OMS 2000). Los análisis realizados han permitido concluir que uno de los mecanismos de mayor impacto, es la acertada tecnológica en el tratamiento de aguas residuales (Galvis *et al.* 2001). Para la selección de una tecnología en el tratamiento de aguas residuales, la confiabilidad operacional y el funcionamiento del conjunto de procesos y operaciones unitarias son factores de suma importancia (Tecele *et al.* 1988). Las soluciones no se pueden generalizar y hay que examinar la influencia de los ámbitos social, económica y ambiental (Souza 1997).

La cantidad y calidad de agua residual que puede ser permitida para su reutilización está condicionada a diversos factores, ya sean socioeconómicos, técnicos (capacidad tecnológica de la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR), culturales o políticos (Ariza & Sambrano 2012). Los sistemas de tratamiento de aguas residuales

tienen tres consecuencias ambientales comunes a la mayoría de los sistemas convencionales: a) el consumo de recursos no renovables que se están agotando con el tiempo; b) la degradación ambiental asociada con la extracción y uso de combustibles fósiles, plásticos, concreto y reactivos químicos; y, c) el destino de grandes cantidades de subproductos resultantes como el lodo generado (Kadlec & Knight 1996; Kinwaga *et al.* 2004). Por otra parte, la mayoría de los sistemas convencionales de tratamiento no reducen el contenido de patógenos en forma significativa (Parr *et al.* 1999). En contraste, los sistemas naturales de tratamiento, requieren una mayor superficie de terreno, pero tienen ventajas importantes como la simplicidad y confiabilidad, bajo costo, poco mantenimiento, bajo consumo de energía de fuentes no renovables y alta eficiencia de remoción de contaminantes (Brix 1999; Kayombo *et al.* 2005; Arias & Brown 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito o Lugar de Estudio

La investigación se realizó en el distrito de Alto Selva Alegre de la ciudad de Arequipa, cuyas coordenadas son: 230160E; 8187729N, ubicada a 2481 msnm, con una temperatura promedio de 18 a 20°C.

Características del sistema de tratamiento de aguas residuales

El diseño de la planta piloto para el tratamiento de aguas domésticas a nivel experimental fue hecho en el programa

MatLab. Fue construido con ladrillos, bandejas de PVC y conectados entre cada sistema con tubos PVC de ½ pulg.

El tratamiento del agua residual es un proceso continuo y funciona por gravedad. Después de un tiempo de retención en cada una de los compartimientos, las aguas residuales fluyen en forma continua de una unidad de tratamiento a otra (Kou 2004). Esta continuidad empieza desde el ingreso al tanque, donde se recibe las aguas residuales, hasta la salida con tratamiento de radiación ultra violeta. Es por esta razón que los parámetros evaluados tuvieron que ser analizados en varias repeticiones en los laboratorios de la Facultad de Ing. Química y de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano.

A continuación presentamos la descripción por componentes de la planta piloto:

Tanque de recepción de agua

Se instaló a una altura de 1m, con una capacidad de 35 litros y una llave regulable que regula el paso del agua residual.

Poza de sedimentación

Se instaló una bandeja de plástico de PVC, cuyas dimensiones fueron: 0.30x0.30x0.15m, teniendo una pendiente entre 5 a 10% con respecto al tanque de agua.

En esta poza se controló el caudal a partir del tanque, regulando con la llave, el mismo que dependerá de la duración del tratamiento, desde que ingresa a la poza de sedimentación hasta que sale del tratamiento con los rayos UV.

Cámara interceptora de grasa

Para un tratamiento eficiente de las aguas domésticas, se instaló un sistema de trampa que capture las grasas, cuyo diseño fue de una bandeja de plástico con orificios de entrada y salida a desnivel. Su función fue capturar grasa en la parte superior del nivel de agua. La recolección de grasa fue manual, las dimensiones fueron de 0.10x0.10x0.10m.

Por acción de la diferencia de densidades entre la grasa y el agua, la grasa forma una especie de nata en la parte superficial de la poza. El evitar el ingreso de grasa al sistema de tratamiento es una condición importante, que permitirá disminuir los olores y un tratamiento eficiente de las aguas residuales.

Sistema de filtros

Se instaló tres filtros: primer filtro de grava, segundo filtro de grava – arena gruesa y el tercer filtro de grava-arena fina, diseñados en forma de serie. Las dimensiones de cada filtro fueron: 0.20x0.20x0.10m y las conexiones entre filtros fueron por tubos PVC de ½ pulg. Estas pozas de filtros sirvieron para mejorar las características físicas del agua, sedimentando partículas coloidales de manera que la coloración del agua y las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua mejoren.

Reactor biológico

Se acondicionó una bandeja de 0.20x0.20x0.10m, conectados con tres tubos PVC con orificios y en la bandeja con sustrato de roca volcánica, con la finalidad de disminuir las concentraciones de nitrógeno, fósforo e incrementar la oxigenación del agua, con la participación de bacterias aerobias que

teóricamente se adhieren en los orificios de la roca volcánica.

Pozas de macrófitos

Se instaló una bandeja de plástico con dimensiones de 0.20x0.20x0.15m, donde se cultivó *Lemna gibba* (lenteja de agua), cuya función fue absorber los elementos fosforados y nitrogenados que se encuentran en las aguas residuales domésticas. Se colocó aproximadamente 500g de lenteja de agua, previamente tratada con agua pH neutro.

Radiación ultravioleta

Se utilizó una bandeja de plástico con medidas 0.30x0.20x0.10m con agua tratada del sistema cuya exposición fue de 20 a 30 minutos a los rayos UV del fluorescente.

Las aguas tratadas que se lograron recibir en el recipiente del tratamiento de radiación ultravioleta (final del tratamiento), que alcanzaron entre 9 a 10 litros/tratamiento/día, fueron utilizadas para el riego del área verde de la Av. Las Torres.

Evaluación de parámetros biológicos en el tratamiento de aguas domésticas

El periodo de estudio se realizó entre los meses de junio a setiembre del 2013. Del total del volumen generado por 50 familias de Alto Selva Alegre, se tomó una muestra equivalente a 35 litros/día de aguas residuales domésticas de uno de los buzones de aguas residuales ubicado en Av. Las Torres (en la octava cuadra). Se ha tratado 35 litros de agua por día en la planta piloto, lo cual representa el 10% de aguas residuales que genera cada familia, siendo aceptable el tamaño de muestra (Sokal & Rohlf 1981; Canales 2011).

Se aplicó la prueba de Ji Cuadrado para determinar si existe diferencia de coliformes fecales del agua residual entre el ingreso y salida del sistema de tratamiento ($\alpha = 0.05$). Para analizar las variables de T°, pH, ORP,

DBO₅, DQO, nitritos y fosfatos se realizó la prueba estadística de ANDEVA de una vía ($\alpha = 0.05$). Se utilizó el programa estadístico de InfoStat versión libre estudiantil

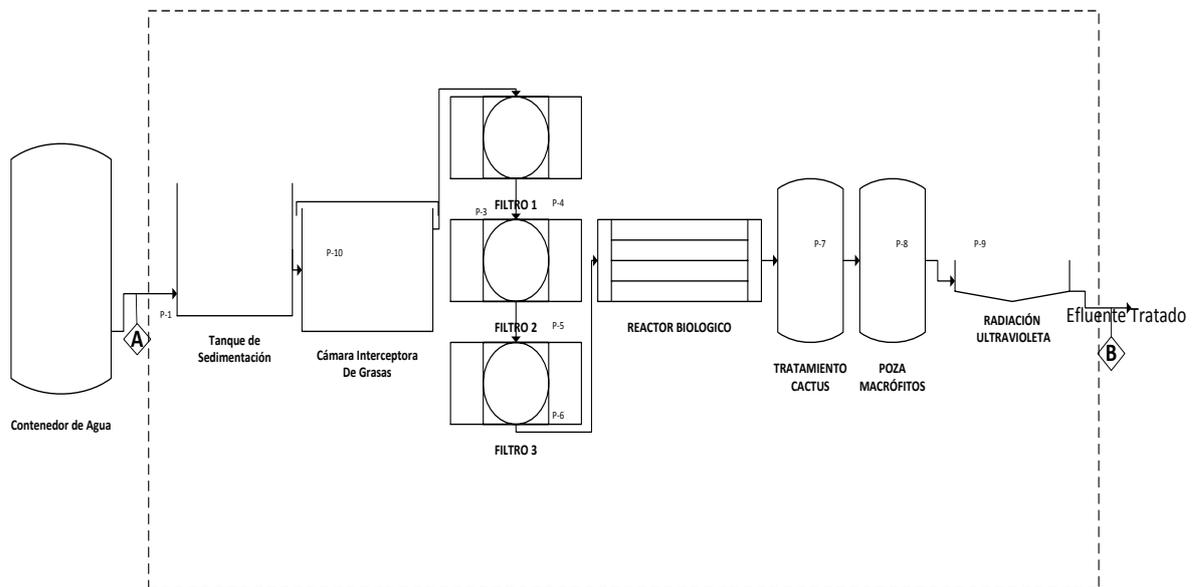


Figura. 1. Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales domésticas a través del diseño e implementación de un módulo (planta piloto) en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento piloto de aguas residuales domésticas tuvo un proceso continuo, iniciando desde el ingreso al tanque donde se recibe las aguas residuales hasta la salida con tratamiento de radiación ultra violeta. Cada repetición tuvo diferente tiempo de retención

en el módulo. Es por esta razón que los parámetros evaluados tuvieron análisis con varias repeticiones.

a. Evaluación de parámetros biológicos en el tratamiento de aguas domésticas

Cuadro 1. Comparación de las repeticiones del tratamiento de coliformes fecales, evaluados en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (planta piloto) en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

N° repetición	Tiempo		Coliformes fecales		% de remoción
	Total Tratamiento (horas)	Solo con Radiación UV (minutos)	Inicio del tratamiento (NMP/100mL)	Final del tratamiento (NMP/100mL)	
1	2.3	5	290	240	17.24
2	3.05	10	240	30	87.50
3	9	15	290	30	89.66
4	10	15	30	0	100.00
5	11	15	60	30	50.00
6	12	15	190	30	84.21

En el módulo diseñado se ha registrado valores de disminución entre 17.2 hasta 100% de coliformes fecales. Esto implica que el sistema disminuye eficientemente los coliformes fecales. Los resultados coinciden con los estudios realizados por León & Peralta (2008), quienes encontraron una remoción de 97% en un sistema de tratamiento con lenteja de agua.

Rovirosa (2004) al hacer un estudio en un sistema de tratamiento de aguas residuales de arena sílice y de playa, concluyó que la remoción de coliformes totales (CT) y fecales (CF) fue siempre superior con arena sílice que en el caso de arena de Playa. La arena de sílice mostró mayor estabilidad con remociones sostenidas por encima de 70 y 99% para CT y CF respectivamente. La Arena de Playa por su parte, se mostró errante en la remoción de CT con fluctuaciones desde 0 hasta 90%, no siendo así en el caso de CF cuando alcanzó eficiencias superiores a 90%. Entonces, la inclusión de arena de playa dentro de un sistema de filtro ha coadyuvado a la remoción de coliformes fecales, siendo más fácil su manejo y tiene un costo bajo. Esto es contrario a las tecnologías de tratamiento de aguas residuales como las convencionales altamente mecanizadas, quienes demandan de un gran consumo energético y costos altos (Zurita *et al.* 2011).

Por otra parte, en sistemas en el que se incluyó radiación UV, se encontró una remoción de coliformes fecales desde 94.9 hasta 99.54% (Orta *et al.* 2000). Estos resultados fundamentan que la radiación UV tiene un alto grado de remoción de coliformes fecales en el prototipo diseñado. De acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), Categoría III (aguas residuales para fines de riego) relacionados a coliformes fecales, indican que no debe exceder 1000 NMP/100 ml. Los resultados del trabajo de investigación estuvieron por debajo de los ECAs, logrando obtener valores de 0 hasta 290 NMP/100ml. La aplicación de radiación ultravioleta fue eficiente, debido a que se utiliza para fines ambientales (Sobotka 1993). La luz ultravioleta actúa mediante la interacción con las moléculas presentes en el medio líquido, provocando en la mayoría de los casos, una ruptura de los enlaces químicos, siendo la luz ultravioleta que daña la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción (Feachem 1983).

b. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de aguas domésticas

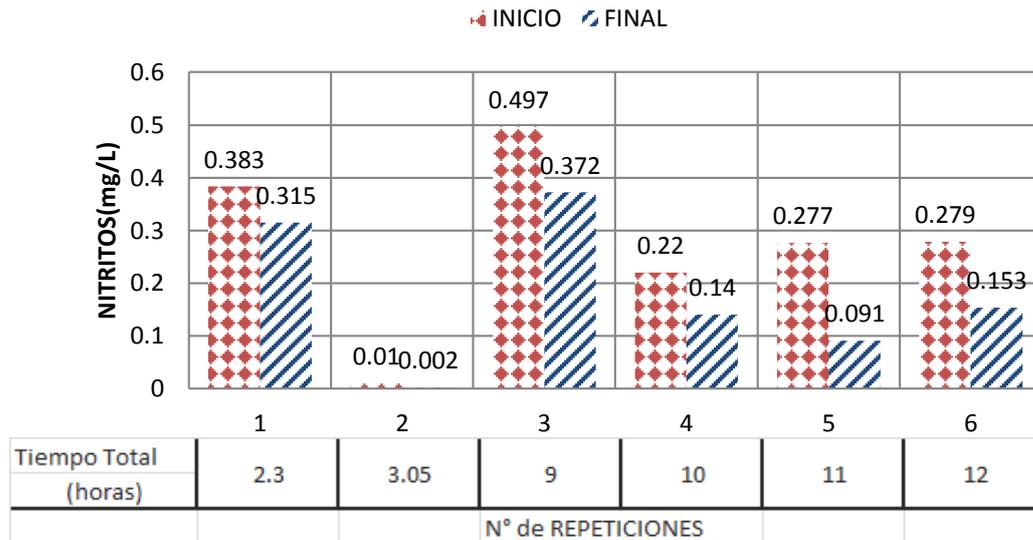


Figura 2. Valores de Nitritos (mg/L) en diferentes tiempos al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

En el prototipo diseñado se ha registrado una disminución entre 175 hasta 67.1% de nitritos, implicando una buena eficiencia de tratamiento. Estos resultados son similares a los de Coila (1992), quien encontró una remoción de 72% de nitritos en un sistema de tratamiento de aguas.

Vargas (2004), en un sistema de tratamiento con microalgas que predominan en la laguna facultativa de “Maracaibo sur” también encontró resultados alentadores (95.05% de remoción) respecto a la remoción del nitrógeno presente en dicha laguna.

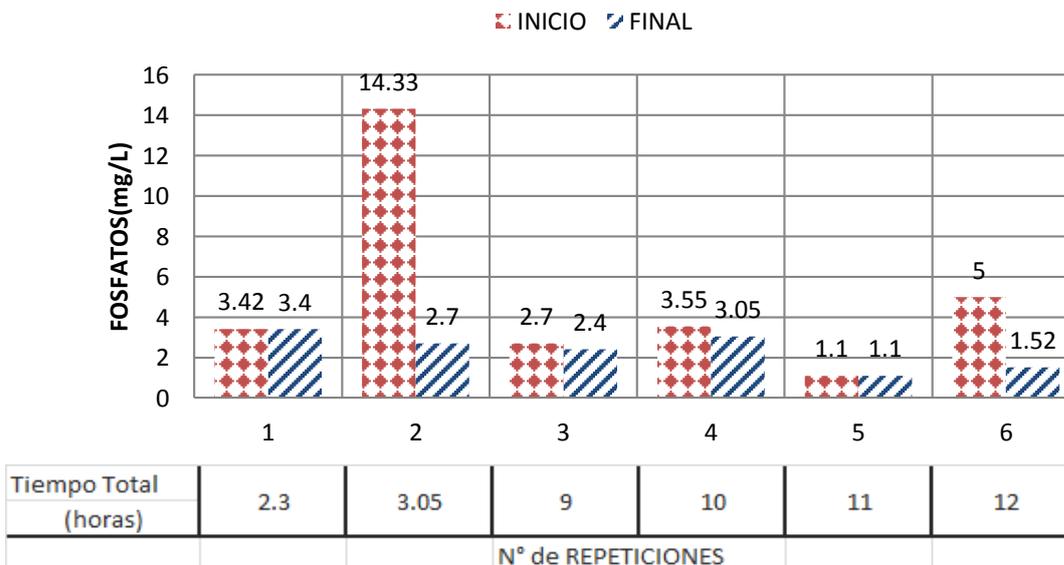


Figura 3. Valores de fosfatos (mg/L) en diferentes tiempos al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

Respecto a fosfatos, se encontró una remoción entre 0% hasta 81.2% (Figura 3), d

modo que la eficiencia de tratamiento es muy variable. Romero (2009), encontró una

remoción constante de hasta un 40.35% de los fosfatos. En general, se ha reportado que las pozas de tratamiento de aguas residuales, tienen una disminución del 32% en fosfatos y hasta un 72% de disminución en otros parámetros fisicoquímicos (Coila 1992). Por otro lado, en sistemas de tratamiento con

humedales artificiales, la disminución de fosfatos puede ser hasta 40.35%, de modo que la eficiencia de tratamiento del fósforo en los humedales artificiales puede llegar a ser eficiente en un período corto hasta que el medio se satura (Romero 2009).

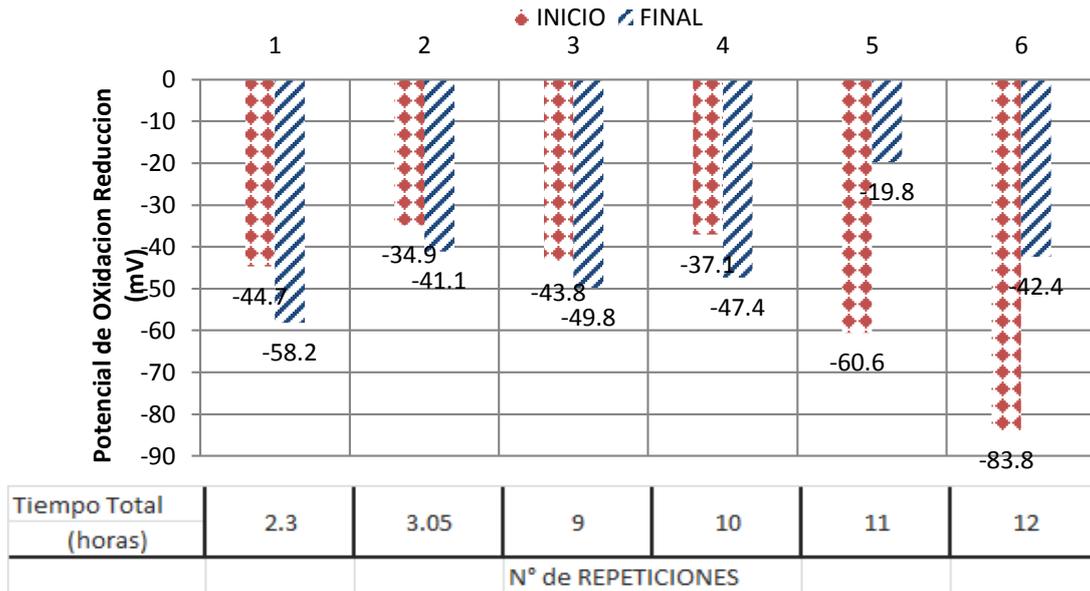


Figura 4. Valores en diferentes tiempos del Potencial de Oxidación - Reducción (mV), al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

Respecto al potencial de oxidación – reducción, se obtuvo una eficiencia de tratamiento entre 13.6 hasta 67.3%. Esta reducción implica un mayor tiempo de vida de bacterias; sin embargo, con la utilización de la radiación UV disminuye considerablemente el nivel de organismos presentes en el efluente tratado (Figura 4).

Estos resultados, son mejores a lo obtenido por Melgoza *et al.* (2008), que utilizando un tratamiento de un efluente textil por medio de un biofiltro discontinuo secuenciado anaerobio/aerobio obtiene resultados de -250mV lo que hace que aumente el número de proliferación de bacterias.

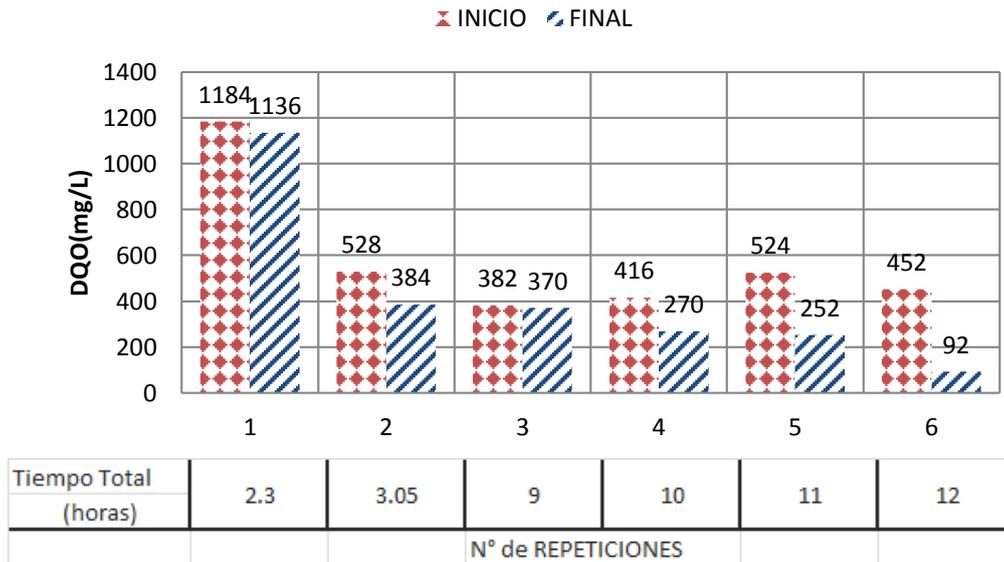


Figura 5. Valores en diferentes tiempos de DQO (mg/L), al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

Se encontró una disminución entre 4.1 hasta 79.65% de DQO (Figura 5). Al respecto, Méndez (2012), encontró una remoción desde 56 a 72% de DQO, durante siete días de tratamiento en un sistema de digestión anaerobia, mientras que Romero (2009), obtiene resultados de hasta 95% de remoción de DQO. Ésta mayor eficiencia de tratamiento encontrado, probablemente se deba a la aplicación de dos especies de plantas,

posibilitando una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica.

Por otro lado, al hacer un tratamiento con un biorreactor de membrana, combinada con un sistema de fangos activados se encontró una remoción de hasta 82 a 92% (Salazar 2009). Por otro lado, en reactores con lenteja de agua se ha encontrado una remoción mayor a 60mg/l (Ramírez 2010).

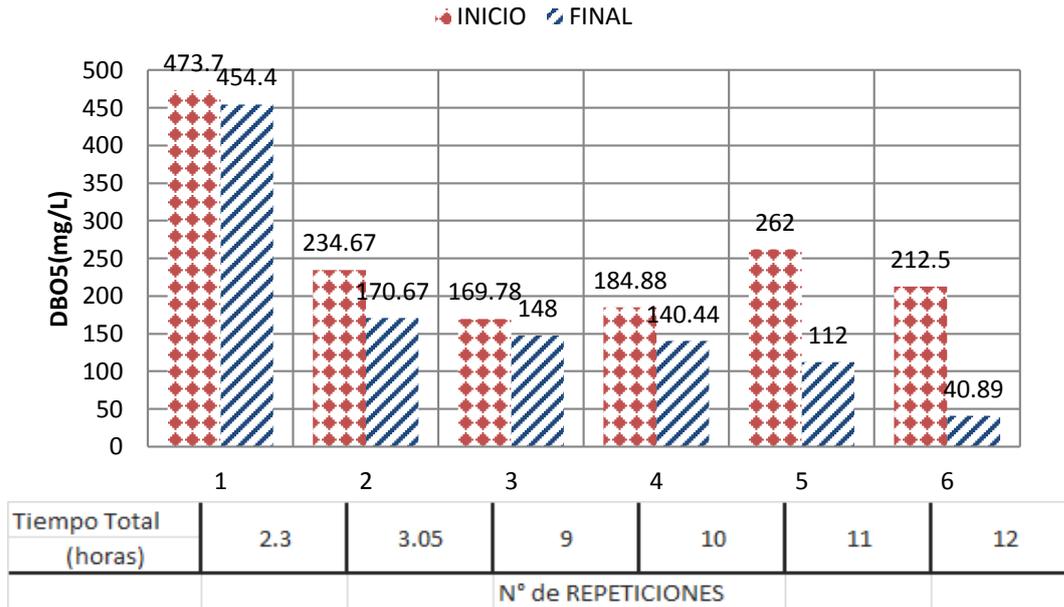
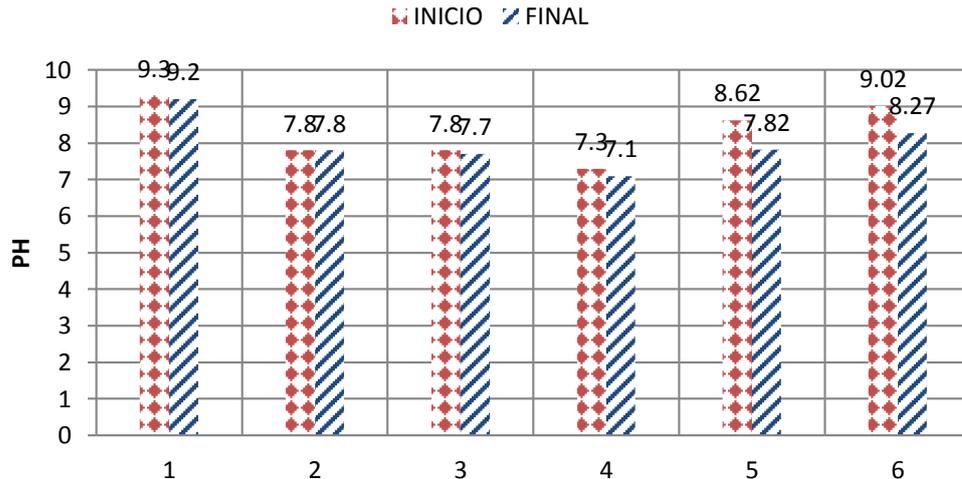


Figura 6. Valores en diferentes tiempos de la DBO₅ (mg/L), al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

El módulo diseñado registró valores de disminución entre 4.1% hasta 80.6% de remoción de DBO₅ (Figura 6). Mañunga (2012), al tratar el agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto, obtuvo resultados de hasta 76% de reducción. Task (1992) en una fosa séptica retiene un 40% de los sólidos suspendidos y sedimentables contenidos en el agua residual, permitiendo su hidrólisis y degradación. En esta unidad se llegan a alcanzar remociones de DBO₅ del orden de 30 a 40%. Mientras que Madera (2005), en sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales consigue resultados de 68 a 82% de remoción y otros sistemas convencionales tienen grandes cantidades de subproductos resultantes como químicos y el lodo generado (Kadlec & Knight 1996; Kinwaga *et al.* 2004).

Por otro lado Alcarraz (2010) con una planta de tratamiento de efluente alcanza resultados de remoción de 96% en DBO₅; reduciendo el potencial contaminante de los efluentes a valores permisibles de evacuación. Sin embargo, Chaux (2011), utilizando un tratamiento de aguas residuales mediante reactores anaeróbicos de placas verticales paralelas en acrílico con un tiempo de retención de veinticuatro horas tuvo una remoción de DBO₅ del 50% y 60% en treinta y seis horas de retención. Fenoglio (2000), en su evaluación en humedales artificiales, observó una eficiencia de remoción superior a 90% a los 20 días de estar en contacto con el agua residual.



Tiempo Total (horas)	2.3	3.05	9	10	11	12
	N° de REPETICIONES					

Figura 7. Valores en diferentes tiempos del pH, al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

En el módulo diseñado se registró valores entre 0% hasta 24.03% de disminución de alcalinidad. Al respecto, Coila (1992), muestra que la utilización de totora como

medio de tratamiento aumenta los niveles de pH, mientras que Pereira da Silva (2009) y Dos Santos (2011) registran incremento del pH.

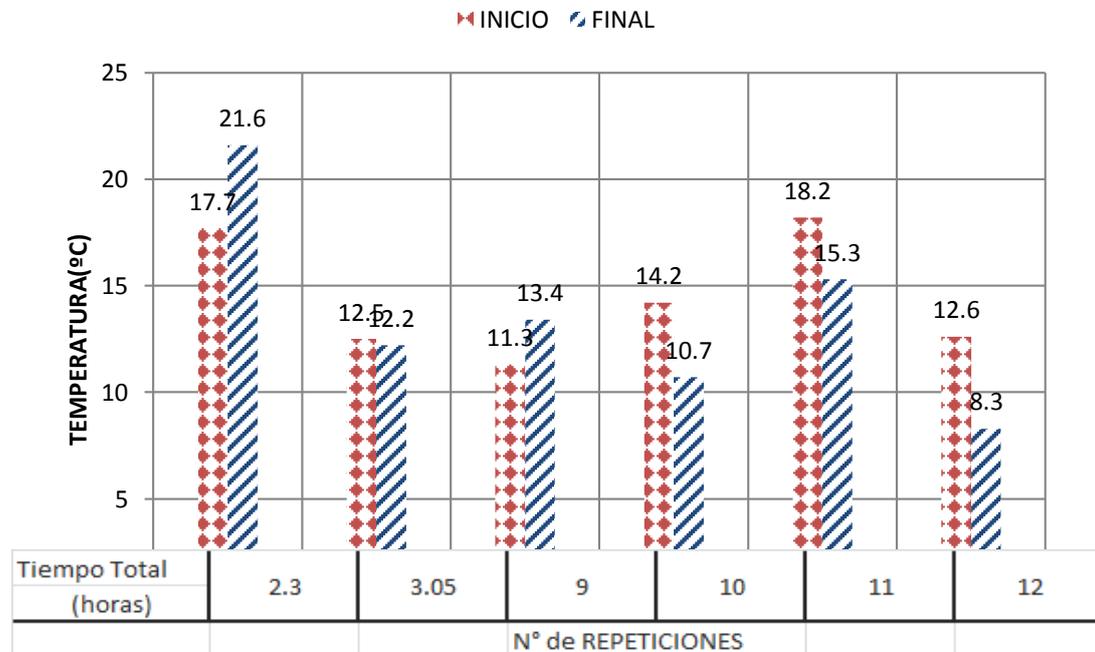


Figura 8. Valores en diferentes tiempos de la temperatura (C°), al inicio y final del sistema de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa (2013).

El módulo diseñado registró valores de variación en temperatura de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, esto expresa que la temperatura alcanza promedios

entre 10°C al final del proceso de tratamiento de aguas domésticas (Figura 8).

Cuadro 3. Comparación de los resultados encontrados con lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) de Tratamiento de Aguas Residuales.

PARÁMETROS	NORMAS				
	ECAs	LMP	VMA	BANCO MUNDIAL	TESIS
	DS-002-2008-MINAM* Categoría III	DS-003-2010-MINAM**	DS-003-2011-VIVIENDA* **		
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1000	10000	-	400	30
Nitritos (mg/L)	0.06	-	-	-	0.153
Fosfatos (mg/L)	1	-	-	-	1.52
DBO ₅ (mg/L)	15	100	500	50	40
DQO (mg/L)	40	200	1000	250	92
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.0 - 9.0	6.5 - 8.5	8.27

* Decreto Supremo 002-2008-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Categoría III: Riego de Vegetales y Bebida de Animales).

** Decreto Supremo 003-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

*** Decreto Supremo 003-2011-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.

c. Diseñar y estimar los costos económicos de un sistema de tratamiento de aguas residuales (planta piloto)

La estimación de costos económicos del funcionamiento del diseño piloto de la planta de tratamiento de aguas domésticas, se realiza en base a la investigación científica-tecnológica, donde se utiliza tecnología local, materiales y equipos existentes en la región. Esto implica la no dependencia de tecnología, siendo así sostenible a través del tiempo el funcionamiento y monitoreo con bajos costos económicos. En base al módulo piloto se ha estimado un costo aproximado para un volumen de 50m^3 de tratamiento de aguas domésticas y mantenimiento para un año, la duración de filtros y reactor biológico

dependerá del tipo de agua que ingrese a la planta de tratamiento.

De acuerdo a la información obtenida de las diferentes localidades que han presupuestado y construido plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, se puede hacer un análisis comparativo con los costos obtenidos y proyectados con la tesis realizada. Cabe indicar que los costos han sido ajustados, para encontrar el Costo Calculado se empleó la siguiente fórmula:

$$Cc = \frac{(Vt) * (Cr)}{Vr}$$

DONDE:

Cc = Costo Calculado de la Planta.

Vt = Volumen Real de la Tesis (0.57 L/s).

Cr = Costo Real de la Planta.

V_r = Volumen Real de la Planta (L/s).

Se usó el volumen de la tesis (0.57 L/s) para todas las plantas de tratamiento y de esta manera se hizo una comparación en función al volumen (L/s) obtenido en la investigación realizada.

Con la finalidad de hacer una comparación objetiva, se consideró que la estructura y los componentes son similares entre las ciudades y la investigación de tesis realizada, esto significa que la planta de tratamiento tenga los siguientes componentes mínimos (Poza de Sedimentación, Capturador de Grasas, Tratamiento de Lodo, Filtros, Reactores y Desinfección).

El mayor costo de construcción de una planta de tratamiento es de la ciudad de Puno, que para tratar un volumen de 0.57 L/s se necesita una inversión de S/. 254,000.00; seguido de la ciudad de Yunguyo (S/. 188,100.00), camal de Moquegua (S/.140,000.00), ciudad de Cuzco (S/.110,000.00), Camal Municipal de Callalli (S/. 108,333.00), distrito José Domingo Choquehuanca (S/. 91,421.00). Estos valores de inversión se deben a que las tecnologías de tratamiento de aguas residuales son altamente mecanizadas y demandan consumo energético, pero requieren áreas relativamente menores de terreno (Zurita et al., 2011). El prototipo diseño no requiere espacios grandes, puede funcionar en áreas menores a 100 m² para un volumen de 50 m³ diarios.

El presupuesto estimado para la construcción de una sistema de tratamiento de aguas residuales con las características anteriormente detalladas es menor a lo

proyectado a sistemas más tecnificados, y posiblemente más eficiente. El presupuesto proyectado en la investigación asciende a S/. 83,430.00.

El sistema de tratamiento propuesto al considerar tecnologías locales, tienen ventajas importantes, como: la simplicidad y confiabilidad, bajo costo, poco mantenimiento, bajo consumo de energía y alta eficiencia de remoción de contaminantes (Brix 1999; Kayombo *et al.* 2005; Arias & Brown 2009). Esta es la tecnología que debería implementarse para ciudades con poblaciones menores a 5,000 habitantes.

CONCLUSIONES

Los parámetros evaluados como coliformes fecales, nitritos, fosfatos, DBO₅, DQO, pH y mostraron un alto nivel de remoción en el sistema de tratamiento piloto, cuyos niveles están por debajo de los valores establecidos en los ECAs, VMA o el Banco Mundial.

El presupuesto estimado para el tratamiento de 50m³ diarios asciende a S/.83,430.00, siendo una inversión mucho menor a lo proyectado en otros proyectos para la construcción de sistemas de tratamiento más tecnificados.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano por brindar las facilidades de análisis de parámetros en los laboratorios.

LITERATURA CITADA

- ALCARRAZ, C. 2010. Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de frutas. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM, 13 (1): 99-104.
- ARIAS, M. E. & BROWN, M. T. 2009. Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Columbia. Ecol. Eng., 35:1070-1078.
- ARIZA, J. & ZABRANO, J. C. 2012. Formulación y análisis del potencial de Reutilización de las aguas residuales tratadas en la PTAR el Saltre - Bogota D.C. Universidad Militar Nueva Granada Dirección de Postgrados Especialización en Planeación Ambiental y manejo de los Recursos Naturales Bogotá D.C: 18.
- BARAJAS, M. G. 2002. Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial. Caracterización y estimulación de las fuentes de carbono de agua residual urbana. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña España.
- BRIX, H. 1999. How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? Water Sci. Technol., 40:45-50.
- CANALES, G.A. 2011. Bioestadística. Herramienta para la investigación, Editorial Corporación MERU E.I.R.L. Puno, Perú.
- CARNEIRO, A.; MOREIRA, R. & SOUZA, M. A. A. 2000. Tecnología Apropriada em Saneamiento: uma nova Abordagem com o Emprego de Análise Multiobjetivo e Multicritério. In 21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, ABES. Brasil.
- CELENZA, G J. 2000. Industrial Waste Treatment Process Engineering guide: Biological Processes. 2da. Edición. Editorial Publishing, USE. 207 pp.
- COILA, C. P. 1992. Implementación de una poza de tratamiento de aguas residuales utilizando totora. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- CHAUX, G. & ZAMBRANO, N. 2011. Tratamiento de aguas residuales por reactores anaerobios de placas verticales paralelas en acrílico. Biotecnología en el sur agropecuario y agroindustrial, 9(2): 159-169.
- DELGADILLO, O.; CAMACHO, A.; PÉREZ, L. & ANDRADE, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de Humedales Artificiales. Universidad Mayot de San Simón. La Paz, Bolivia. 99 pp.
- DOS SANTOS, A. & OLIVEIRA, R. 2011. Tratamento de águas residuárias de suino cultura em reatores anaeróbios horizontais seguidos de reator aeróbio em batelada sequencial. Journal Water Pollution Control Federation, Alexandria, 33(4): 356-365.

- FEACHEM, R.G. 1983. Sanitation and Disease: Health Effects of Excreta and Wastewater Management. Chishester, Reino Unido: John Wiley and Sons.
- FENOGLIO, L. 2000. Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- GALVIS, A.; CARDONA, D. A. & BERNAL D.P. 2001. Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30,000 habitantes, Seltar. Conferencia Internacional: De la acción local a las metas globales. Universidad de Valle, Instituto Cinara.
- KAYOMBO, S.; MBWETTE, T. S. A.; KATIMA, J. H. Y.; LADEGAARD, N. & JORGENSEN, S. E. 2005. Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual". United Nations Environment Programme (UNEP)-International Environmental Technology Centre (IETC) - Danish International Development Agency (Danida).
- KIMWAGA, R. J.; MAHAURI, D.A.; MBWETTE, T. S. A.; KATIMA, J. H. Y. & JØRGENSEN, S. E. 2004. Use of coupled dynamic roughing filters and subsurface horizontal flow constructed wetland system as an appropriate technology for upgrading waste stabilisation ponds effluents in Tanzania. *Physical Chemical Earth*, 29:1243-1251.
- KOU, S. M. 2004. Procesos Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales En Plantas Galvánicas Y Metalúrgicas.
- LEÓN, E.M.E. & PERALTA, L.A.M. 2008. Estudio *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*, en el tratamiento de aguas residuales domésticas aplicando a sistemas unifamiliares y comunitarios en el cantón Cotacachi – Ecuador
- MADERA, C.; SILVA, J.P. & PEÑA, R. 2005. Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanques sépticos filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Revista Ingeniería Competitividad*, 7(2): 5-10.
- MAÑUNGA, T.; RODRÍGUEZ J.; TORRES P. 2012. Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, Vol. 30 N° 2.
- MÉNDEZ, A.; PERALTA E.; VIDAL, J.; MORALES, A. 2012. Degradación electroquímica de fenol: simulación numérica y control con estructuras básicas de control. *ACI*, 3(1): 93-102.

- MELGOZA, R.; JUAREZ, L.; BUITRON, G. 2008. Estrategias de arranque de un biofiltro anaerobio/aerobio para la mineralización de nitrofenoles. Mexico, Universidad Nacional Autonoma de México. Norma Oficial Mexicana: NOM-003-ECOL-1997.
- ÑIQUE, A. 2000. Humedales construidos para el Tratamiento de Aguas Residuales. Sencico, 1(1): 86-90.
- PARR, J.; SMITH, M., SHAW, R. 1999. Wastewater treatment options. Water and Environmental Health at London and Loughborough.
- ORTA, T., MORALES J. & MONJE I., 2000. Desinfección de agua residual por luz ultravioleta Proveniente de tratamiento físico-químico ó biológico para Reúso agrícola. Mexico, D.F.: Instituto de Ingeniería.
- PEREIRA DA SILVA, M.; TAVARES, J.; OVRUSKI, B.; BARBOSA, W. & DUARTE, V. 2009. Tratamiento aeróbico conjugado de lodos de tanques sépticos e residuos sólidos orgánicos domiciliarios.
- PÉREZ, J. M. 1998. Tecnología apropiada en tratamiento de agua. Hojas de divulgación técnica. <http://www.cepis.org.pe/>
- RAMÍREZ, E., GARZÓN-ZÚÑIGA, M. & GARCÍA, S. 2010. Técnicas para la separación de sólidos de aguas residuales de granjas porcinas. Memorias. XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta Cana, República Dominicana. 7 al 11 de noviembre.
- RAMOS, C.; GUTIÉRREZ, J.; RODRÍGUEZ, X. & AGRAMONTE, M. 2010. Filtro biológico en el tratamiento de lixiviados. CENIC, 41: 1-11.
- ROMERO, A.M.; COLÍN, C.A.; SÁNCHEZ, S.E. & ORTIZ H.M.L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Int. Contam. Ambient, 25(3):157-167.
- ROVIROSA, M.N.F. 2004. Tratamiento de aguas residuales en zonas costeras mediante infiltración rápida en Arenas Puerto Rico.
- SOBOTKA, J. 1993. The efficiency of water treatment and disinfections by means of Ultraviolet radiation. Water Science and Technology, 27: 343-346.
- SOKAL, R. & ROHLF, J. 1981 Biometry. The principles and Practice of Statistics in Biological Research. Second Edition. W.h Freeman and Company, New York. United States of America.
- TASK, F. J. 1992. Design of municipal wastewater treatment plants. Manual of Practice No. 8. New York, Water Environmental Federation and American Society of Civil Engineers: 11-12.

- TECLE, A.; FOGEL, M. & DUCKSTEIN, L. 1988. Multicriterion selection of wastewater Management alternatives. Water Resources Planning and Mangement Division, 114(4): 383-398.
- VARGAS, R.; TABORDA, G. 2004. Evolución de nitritos y ácido sórbico en productos cárnicos durante su almacenamiento en frío, XIII Congreso de química, Colombia.
- VON SPERLING, M. 1996. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. Water Science and Technology, 33 (3): 58-72.
- VILLEGAS, M. & VIDAL, E. 2009. Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia. 1983-2009. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia-Colombia. 73 pp.
- ZURITA, F.; CASTELLANOS O. & RODRÍGUEZ A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub: 139-150.