

EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BARINAS

Recibido: 16/07/2019

Aceptado: 21/09/2019

Mayerling Castillo *

Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora.
UNELLEZ. Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social VPDS- Barinas
Venezuela

RESUMEN

La presente investigación realizada en la modalidad cuantitativa y bajo un diseño experimental tiene por objetivo evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Barinas Estado Barinas, ubicada al sur de la ciudad en la localidad de Punta Gorda. Su proceso de tratamiento es biológico, consistente en lagunas de estabilización facultativas. El arreglo del sistema consiste: rejillas metálicas para el desbaste, desarenador, lagunas de lodos, módulos facultativos que trabajan en paralelo; seguidos de una laguna de contacto (cloración). Fueron tomadas muestras a la entrada y salida de la planta y de cada unidad, para realizar los análisis correspondientes a la determinación in situ de pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y temperatura, y en el laboratorio DBO₅, DQO, P-total, N-total, sólidos en todas sus formas, turbiedad, color real, cloruros, sodio, nitritos, nitratos, aceites y grasas. Se obtuvieron los siguientes valores de remoción: DBO₅ (49,3%), DQO (22%), P-total (8%), N-total (30%). La generación de nitritos y nitratos obtenida no fue relevante. De esta evaluación se concluye que no se realiza la medición de parámetros básicos en el control de operaciones del sistema. Para completar la evaluación a la planta se determinó la eficiencia del sistema, mediante el análisis físico-químicos (DBO₅, DQO, sólidos en todas sus formas, turbiedad, color real, cloruros, sodio, potasio, fósforo, nitritos, nitratos, nitrógeno total, aceites y grasas) en diferentes puntos de muestreo del sistema. En cuanto a la alta concentración de sólidos suspendidos en el efluente, se hace necesario mejorar la calidad del mismo, para así dar cumplimiento a los límites establecidos en la normativa ambiental.

Palabras Claves: Aguas residuales, análisis, calidad de agua, parámetros.

EVALUATION OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN THE CITY OF BARINAS

ABSTRACT

The present research carried out in the quantitative modality and under an experimental design aims to evaluate the wastewater treatment plant of the City of Barinas, State of Barinas, located to the south of the city in Punta Gorda. Its treatment process is biological, consisting of facultative stabilization lagoons. The arrangement of the system consists of: metal gratings for roughing, sand trap, sludge lagoons, facultative modules that work in parallel; followed by a contact gap (chlorination). Samples were taken at the entrance and exit of the plant and each unit, to perform the analyzes corresponding to the in situ determination of pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, dissolved solids and temperature, and in the laboratory BOD₅, COD, P- total, N-total, solids in all its forms,

turbidity, real color, chlorides, sodium, nitrites, nitrates, oils and fats. The following removal values were obtained: BOD₅ (49.3%), COD (22%), P-total (8%), N-total (30%). The generation of nitrites and nitrates obtained was not relevant. From this evaluation it is concluded that the measurement of basic parameters in the control of system operations is not carried out. To complete the evaluation of the plant, the efficiency of the system was determined through physical-chemical analysis (BOD₅, COD, solids in all its forms, turbidity, real color, chlorides, sodium, potassium, phosphorus, nitrites, nitrates, total nitrogen, oils and fats) at different sampling points in the system. Regarding the high concentration of suspended solids in the effluent, it is necessary to improve the quality thereof, in order to comply with the limits established in the environmental regulations.

Key words:wastewater, analysis, waterquality, parameters.

INTRODUCCIÓN

El mundo observa con preocupación los dramáticos efectos de la actividad humana en los ecosistemas, sobre todo las consecuencias de la disposición de efluentes líquidos que se originan del uso doméstico, comercial e industrial. Estos residuos líquidos son descargados en ríos, arroyos, lagos o directamente al mar sin un tratamiento apropiado; contribuyendo con materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos que favorecen la eutrofización y turbidez, el crecimiento de algas, cambios en los ecosistemas acuáticos, disminución de la diversidad biológica e incidentes de mortandad de peces por agotamiento de oxígeno, los malos olores producto de la descomposición de la materia orgánica biodegradable, desoxigenación del agua, proliferación de fauna nociva, incremento de la temperatura, por lo cual representa un agente nocivo, causante de enfermedad y muerte.

En la actualidad existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales; que van desde primarios para la remoción de materiales sólidos (plásticos, bolsas, entre otros) que mejoran las características físicas. Los tratamientos secundarios para la remoción de la carga orgánica y terciarios con la desinfección, que permiten el reúso del agua en diferentes actividades del hombre. El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de eliminar los contaminantes presentes en el agua, las cuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo, tanques sépticos, campos de absorción u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y sistemas de bombas a una planta de tratamiento como la que se evalúa en este estudio.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Ciudad de Barinas, se encuentra ubicada al Sur de la ciudad en la Parroquia Corazón de Jesús del Municipio Barinas, y dispone de un área de 100 hectáreas. Esta planta de tratamiento de aguas residuales puede tratar un caudal medio de entrada de diseño de 1406 L/s y caudal mínimo de entrada de 767 L/s. El arreglo de la planta es de la siguiente manera: un canal de desbaste (rejillas a 45°), un desarenador tangencial, dos lagunas de lodos, dos lagunas facultativas que trabajan en paralelo; y por último una laguna de contacto (cloración).

Estas lagunas facultativas, consisten en dos estanques rectangulares con un volumen de 76.400,00 m³ cada uno y con una profundidad de agua de dos metros. El tiempo de retención hidráulico a caudal medio de diseño en el sistema es de 14,97 d. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Crites y Tchobanoglous (2000) para lagunas aireadas con mezcla parcial, las cuales tienen entre sus características que son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica. Adicionalmente al sistema se le suministra oxígeno por medio de una batería de difusores de aire sumergidos, para satisfacer la demanda de oxígeno en la remoción de la DBO. El tiempo de retención hidráulico a caudal medio de operación en el sistema es de solo 8,96 d valor muy por debajo al establecido en las condiciones de diseño.

Este tipo de laguna se caracteriza por tener una zona inferior anaeróbica, una zona media facultativa y una zona superior aeróbica, en la cual las fuentes de oxígeno son la actividad fotosintética y los difusores mecánicos de aire, esto ocurre a través de la interface aire-agua en la superficie de la laguna.

La siguiente etapa de tratamiento ocurre en las lagunas de pulimento. Estas son dos unidades con un volumen útil de 122 m³/día y un tiempo de residencia de treinta (30) minutos. La función principal de estas lagunas es mejorar la calidad del efluente desde el punto de vista bacteriológico. En estas lagunas ocurre la remoción de los microorganismos patogénicos excretados con las heces humanas, tales como virus, bacterias y huevos de parásitos mediante la sedimentación, la acción de otros organismos depredadores, la luz ultravioleta del sol y desinfección por la adición del gas cloro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diagnóstico inicial de la situación de la PTAR se realizó a partir de la observación directa acompañada de la aplicación de un instrumento tipo cuestionario aplicado al personal responsable del sistema, afín de recabar información referente a las condiciones de diseño y de operación del sistema. Asumiendo una población a servir de 460.074 habitantes, con una dirección predominante del viento en sentido noreste, a una temperatura mínima mensual ambiental de 25 °C.

En los puntos de muestreo, Entrada al Sistema de Tratamiento (EP), Entrada a las Lagunas (EL) y Salida del Sistema de Tratamiento (SP) se procede a la captación manual de la(s) muestra(s) para cada una de las descargas en crudo (directamente) en cada una de las unidades que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales. En función, de lo descrito se efectúan el muestreo instantáneo en los sitios de captación que se describen en el Cuadro 1 y se valoran los parámetros fisicoquímicos que de forma rutinaria se evalúan en los laboratorios de aguas residuales, su selección fue hecha con base en la sencillez, rapidez, costo, aplicabilidad y precisión de cada una de las técnicas a emplear.

Cuadro 1. Métodos a emplear para las determinaciones.

Parámetro	Metodología	Instrumento o Equipo
Temperatura del Agua	Electrométrico	Hanna Instrument HI 8734
Oxígeno Disuelto	Electrométrico	Hanna Instrument HI 8734
pH	Electrométrico/pHmetro	PH-Meter-Hanna Instrumento (HI9321)
Color	Comparación Visual	Patrones
Nitratos	Espectrofotométrico Colorimétrico	HACH-DR/3 Espectrofotometer
Nitritos	Espectrofotométrico Colorimétrico	HACH-DR/3 Espectrofotometer
Fósforo	Espectrofotométrico Colorimétrico	HACH-DR/3 Espectrofotometer
DBO ₅	Winkler-Modificado	Botellas de Winkler
DQO	Oxidación Química (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Cristalería
Conductividad	Electrométrico	HannaInstrument HI 8734
Sólidos disueltos totales	Electrométrico	Hanna Instrument HI 8734

Fuente: Castillo, 2019.

También se hicieron mediciones de campo en los puntos de muestreo, donde se registraron los valores de temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De la información recabada en el sitio, se determinó que no se realiza ninguna medición de los parámetros que rutinariamente se evalúan en este tipo de sistemas, debido a la insuficiente dotación del laboratorio (cristalería, reactivos, equipos, entre otros). En cuanto, al control de la operación de la planta, se resume en las siguientes actividades: 1) Limpieza de la rejilla de desbaste.2) Medición del caudal de entrada a las lagunas mediante una regleta graduada.3) Encendido durante una hora diaria de la bomba de lodos, (ubicada en el sedimentador) la cual descarga en la laguna de lodos.4) Encendido de la batería de compresores que alimenta los difusores de aire los cuales se alternan durante la operación de 8 h. 5) Control de la maleza en las lagunas, y 6) Limpieza de las áreas en general.

Al medir en sitio la temperatura promedio del agua a la entrada de la planta es de $30,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial y/o por el efecto de la radiación solar que transfiere calor a las tuberías que transportan las aguas residuales. Esta temperatura permanece constante a lo largo del tratamiento, y no es apta para descargar a los cuerpos de agua de la región, en este caso el Río Santo Domingo, que registro una temperatura promedio de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Otra de las determinaciones más importantes en cualquier estudio de aguas residuales: el oxígeno disuelto, así la necesidad de disponer de cantidades suficiente de este parámetro radica en que se debe satisfacer la demanda de oxígeno del agua residual para estabilizar la carga orgánica, es decir, permitir su sedimentación y descomposición. El promedio de todas las determinaciones en la entrada de la planta de tratamiento es cercano a cero por lo cual habría que considerar un déficit de oxígeno disuelto, esto debido a su alto contenido de materia orgánica lo cual aumenta el consumo de oxígeno. Por las reacciones bioquímicas que ocurren, acercando a niveles críticos su valor. Sin embargo, a medida que transcurre la transformación de la materia orgánica de esta agua, la concentración de este parámetro aumenta hasta niveles promedio de $6,28 \pm 0,01\text{ mg/L}$ a $7, \pm 0,01\text{ mg/L}$ a la salida de la planta de tratamiento, donde tiene un máximo. Este aumento se debe a la acción fotosintética de las algas que se forman en el proceso en las lagunas y por la re-aireación natural superficial.

Con respecto a la concentración de ión hidrógeno en términos del pH. Generalmente, las aguas residuales son alcalinas, propiedad que le confieren los materiales añadidos en los usos domésticos. En el sistema de tratamiento los valores de

pH oscilan entre $7,21 \pm 0,1$ y $7,98 \pm 0,1$ siendo óptimos para la actividad microbiana que se efectúa en las lagunas de estabilización. Cárdenas y colaboradores (2005) señalan que los incrementos en los valores de pH reportados se adaptan a los presentados en otras investigaciones efectuadas en países de clima tropical y se debe al dominio de la fase metanogénica sobre la fase ácida de formación de ácidos volátiles.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), removida por este sistema es baja, con valores promedio a la entrada de 72 ± 1 mg/L y a la salida de $36,5 \pm 1$ mg/L, por lo cual la eficiencia de remoción sería de sólo 49,3 %. Es bien sabido, que la DBO_5 es utilizada para cuantificar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente el contenido de materia orgánica presente, es decir, la cantidad de oxígeno usado por la actividad respiratoria de los microorganismos que utilizan la materia orgánica del agua residual para crecer y para metabolizar a partir de ella y de otros microorganismos y sus componentes celulares. En este estudio, los valores encontrados para la DBO_5 en la entrada del sistema de tratamiento son en promedio de 72 ± 1 mg/L, valor por debajo de los publicados por Crites y Tchobanoglous (ob.cit.), quienes señalan que en el agua residual doméstica su concentración, tiene un intervalo típico de existencia de 110-400 mg/L, estos resultados eran de esperarse, dado que esta descarga recoge en su mayoría las aguas pluviales, por lo que se infiere que el líquido cloacal es diluido con el agua de drenaje y aportaciones incontroladas de infiltraciones.

También, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la totalidad de la materia oxidable, tanto orgánica como mineral, siendo el resultado de una oxidación química en húmedo por medio de mezcla sulfo-crómica en caliente. Por ende, los resultados representan los compuestos orgánicos, según Tchobanoglous y Burton (1995), formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en algunos casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. De la DQO obtenida era de esperar valores mayores que su correspondiente DBO_5 , debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En resumen, la DQO en el sistema alcanza un valor promedio en la entrada de 178 ± 1 mg/L y a la salida de 139 ± 1 mg/L, por lo cual la eficiencia de remoción sería de 22%, la cual es bastante baja. Cárdenas y colaboradores (ob.cit.) señalan los estos resultados se deben a que existe un descenso apreciable en cuanto a la

biodegradabilidad del agua, lo que indica que la mayor parte de la materia orgánica biodegradable fue transformada durante el proceso.

Uno de los objetivos del tratamiento es la remoción de sólidos, los valores promedio a la entrada de 360 ± 1 mg/L y a la salida de 420 ± 1 mg/L. En este sistema se debe considerar que las aguas a tratar han sido sometidas a un tratamiento biológico donde uno de los principales mecanismos de remoción debería ser los procesos de sedimentación. El aumento en la concentración de los sólidos en las lagunas, con respecto al afluente, es debido a la conversión de la materia orgánica afluente en biomasa en estas lagunas, es decir, las propias algas que crecen en el sistema, de modo que una sedimentación de estos efluentes, lograría mejorar aún más la eficiencia de este sistema de tratamiento.

El Nitrógeno Total (NT) a través del proceso experimenta una remoción, en la entrada su concentración en promedio es de 29 ± 1 mg/L y a la salida de 21 ± 1 mg/L para una eficiencia de remoción del 30%. El comportamiento del NT a lo largo del proceso, donde se logró detectar el decrecimiento de la concentración de las formas nitrogenadas, debido a las transformaciones de las especies del nitrógeno, presentes en las lagunas, a formas más oxidadas. El mayor porcentaje de remoción se registra a la salida de las lagunas, lugar donde se elimina por incorporación a los cuerpos celulares, liberación a la atmósfera y a la transformación hacia nitritos y nitratos. Si se toma en cuenta lo dicho por Babbitt y Baumman (citados por Cárdenas y colaboradores, ob.cit.), la presencia de estas formas oxigenadas de nitrógeno son un indicio de que es aquí donde se logra la mayor estabilización del agua residual, donde una porción importante del nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal, y una parte se incorpora a las células biológicas que son extraídas del flujo del agua tratada antes de la descarga.

Ahora bien, el resultado de la media encontrada en la entrada del sistema de tratamiento, fue de $0,01 \pm 0,01$ mg/L y $0,6 \pm 0,01$ mg/L para el nitrito (NO_2) y el nitrato (NO_3), respectivamente. A pesar de las bajas concentraciones que presenta el nitrito, es peligroso por su gran toxicidad para la fauna piscícola y demás especies acuáticas. La preponderancia del nitrógeno bajo la forma de nitrato, es un indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. En las primeras etapas del tratamiento, el pH es muy bajo como para permitir el desarrollo de bacterias nitrificantes, sin embargo, en las siguientes etapas las condiciones se hacen favorables para su desarrollo. Para Tchobanoglous y Burton (ob.cit.), el nitrito es un indicador de la

contaminación previo al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/L en el agua residual, además el nitrógeno de nitrato, es la forma más oxidada del nitrógeno encontrada en las aguas residuales, con contenidos típicos entre 15 y 20 mg/L.

El fósforo es el resultado de la contaminación con detergentes, aunque también con estiércol y heces, este produce eutroficación de los cuerpos de agua. Crites y Tchobanoglous (ob.cit.) afirman de la remoción del fósforo es mínima en este tipo de sistemas, por tanto el valor obtenido en promedio a la entrada es de $1,9 \pm 0,1$ mg/L y a la salida de $1,8 \pm 0,1$ mg/L para una eficiencia de remoción del 8%; es aceptable. Esta tendencia es causada posiblemente por la precipitación de este nutriente con la porción no biodegradable de las algas y otros microorganismos que hayan muerto, lo que obliga a las nuevas algas a tomar este nutriente de las aguas. También, influye los valores de pH (entre 6,5-9,5), pues altos valores de éste parámetro promueven la formación y precipitación de compuestos insolubles de fósforo.

CONCLUSIONES

Del diagnóstico inicial se infiere que no se realiza la medición de parámetros básicos en el control de operaciones del sistema. Sin embargo, las características físico-químicas del efluente estudiado se encuentran por debajo de los límites establecidos en el Decreto N° 883 para la descarga a los cuerpos de agua. En consecuencia, la descarga al Río Santo Domingo, se realiza dentro del marco normativo para la protección del medio ambiente, específicamente en términos de la capacidad de asimilación del cuerpo receptor, representada por la cantidad de materia orgánica que puede ser vertida sin menoscabar la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua.

La eficiencia de remoción de la carga orgánica en términos de la DBO₅ y la DQO es de 38%, y 22% respectivamente. Existe un descenso en cuanto a la biodegradabilidad del agua a medida que avanza el tratamiento en el sistema, reflejado en la disminución promedio que experimenta la relación DBO₅/DQO desde 0,40 a 0,26. Demostrándose que se logra una baja remoción bajo las condiciones climáticas y de operación de este estudio, con solo 8,96d de tiempo de retención.

La concentración de nitrógeno total se vio disminuida en un 30%, esto debido posiblemente al aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal, siendo los valores óptimos de pH para el crecimiento de bacterias anaerobias, la ausencia de oxígeno

disuelto en el afluente y las elevadas temperaturas permiten señalar la posibilidad de que la actividad biológica dentro de las lagunas es anaerobia, dándose el proceso de desnitrificación. De los resultados obtenidos de nitrógeno total (NT), nitritos y nitratos a lo largo del sistema se pudo detectar un decrecimiento de la concentración del NT, y un aumento en la concentración de nitritos y nitratos, los cuales arrojaron valores por debajo al establecido en el Decreto N° 883 de 10 mg/L (los valores encontrados a la salida de la planta fueron 0,06 mg/l y 0,41 mg/L respectivamente en todos los casos), esto debido a un efectivo proceso de desnitrificación que condujo a la estabilización del nitrógeno presente en las lagunas.

En cuanto a la concentración del oxígeno disuelto, se verifica un incremento significativo producto de la actividad de fotosíntesis, y por la reaireación natural superficial. El sistema de tratamiento estudiado no es muy eficiente (21%) en la producción de efluentes con bajas concentraciones de sólidos suspendidos totales, esto debido a la concentración elevada de algas, por lo tanto incumple con el valor máximo reglamentado para el vertimiento, por lo que se debe diseñar un proceso adicional al final del tratamiento para la remoción de los mismos del efluente y así facilitar el cumplimiento de la normativa establecida (filtros de arena intermitentes, microtamices, filtros de grava, flotación con aire disuelto, plantas acuáticas flotantes, humedales artificiales, entre otros).

RECOMENDACIONES

Realizar el monitoreo diario de la operación de la planta de tratamiento mediante la medición de parámetros in situ como: oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, entre otros. También, es necesario registrar la variación de la carga orgánica en términos de DQO y DBO₅, afín de verificar el funcionamiento del sistema.

En este estudio, se verifica que las lagunas de estabilización representan una alternativa eficiente en el tratamiento de las aguas residuales, sin embargo su principal desventaja es la alta concentración de sólidos suspendidos en el efluente, por lo que se hace necesario mejorar la calidad del mismo.

Por último, es necesaria la obtención del perfil hidráulico para las diversas unidades y componentes, en donde se indique claramente las cotas de la lámina de agua en cada uno de los procesos, referenciadas éstas a las cotas del terreno. El estudio del

comportamiento hidráulico del sistema, puede ser simulable y susceptible de ser mejorado.

REFERENCIAS

- Lazcano Carreño, C. (2016). Biotecnología Ambiental de Aguas y Aguas Residuales 2^a Ed. Disponible: <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2016/04/Biotecnolog%C3%ADa-ambiental-de-aguas-y-aguas-residuales-2da-Edici%C3%B3n-1.pdf> [Consulta: 2019, junio 15].
- Cárdenas, C., Jaeger, C., Villasmil, H. (2005). Evaluation of the units that conform the wastewater treatment plant south Maracaibo. Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia [Revista en línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.ve> [Consulta: 2019, abril 6].
- Cárdenas, C., Perruelo, T., Fernandez, D. (2002). Treatment for domestic wastewater by using aerated ponds. Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad del Zulia [Revista en línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.ve> [Consulta: 2019, abril 6].
- Crites R., Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo I, II y III. Colombia: McGraw-Hill.
- Electrotécnica Saqui, C.A. Memoria Descriptiva: Proyecto, Procura, Construcción, Puesta en marcha y Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Punta Gorda, Barinas, Edo. Barinas.
- Norma Venezolana COVENIN 2634 (2002). Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones (1^a Revisión). Caracas: Fondonorma.
- Norma Venezolana COVENIN 2709 (2002). Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo (1^a Revisión). Caracas: Fondonorma.
- Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto N° 883). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 (Extraordinario), diciembre 18, 1995.
- Tchobanoglous G. y Burton F. (1995). Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF Y EDDY. Inc Vol. I. Tercera edición. España: Editorial Mc Graw Hill.

* **MSc. en Ingeniería Química. Ingeniera Química. Profesora Agregada de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora UNELLEZ. Programa Ciencias del Agro y del Mar. Subprograma Ingeniería Agroindustrial. Barinas – Venezuela. Correo: nmayerlingc@gmail.com.**