

EVALUACIÓN DEL ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA TABACALERA

YUSMARY BELLO¹, RAYMAR LARA²

Universidad de Carabobo, Escuela de Ingeniería Química

¹yangelicabm@hotmail.com, ²raymar_l@yahoo.es

Recibido: noviembre de 2004

Recibido en forma final revisado: diciembre de 2005

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito fundamental evaluar el arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa tabacalera. Dicha investigación se lleva a cabo mediante la identificación de los factores que inciden en el incremento de los niveles de nitrógeno y fósforo; el diagnóstico de los equipos y unidades que conforman la planta de tratamiento; la caracterización y análisis de las aguas del proceso de tratamiento, esta última por medio de curvas del comportamiento de los niveles de nitrógeno y fósforo; el cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento; y por último, se realiza una valoración para verificar que los niveles de nitrógeno y fósforo a la salida del sistema cumplan con los requerimientos ambientales exigidos por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Este trabajo se desarrolla en las instalaciones de una empresa tabacalera, ubicada en el estado Aragua, sector Camburito. Entre las conclusiones más importantes obtenidas del estudio de caracterización realizado durante la etapa inicial de estabilización de la planta, se tiene que la falta de extracción del lodo de desecho en los sedimentadores es la principal causa de que las altas edades del fango, comprendidas entre 24 y 122 días, sobrepasen considerablemente el valor de diseño 10,5 días, el comportamiento de los niveles de nitrógeno y demanda bioquímica de oxígeno durante el mes de marzo evidencia que el sistema implementado para la eliminación de estos parámetros en su etapa inicial se está llevando a cabo a las condiciones para las cuales fue diseñado; las eficiencias de remoción obtenidas son de $98,7 \pm 0,2$ % para la demanda bioquímica de oxígeno, 92 ± 4 % para la demanda química de oxígeno; 60 ± 20 % para el nitrógeno y de 48 ± 18 % para el fósforo.

Palabras claves: Aerobio, anaerobio, anoxio, tratamiento, efluente.

EVALUATION OF THE SETTING UP OF A SYSTEM OF RESIDUAL WATER TREATMENT IN A TOBACCO COMPANY

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the setting up of a wastewater treatment plant in a tobacco company. It was carried out through the identification of the factors that lead to an increase in the levels of nitrogen and phosphorus; the study of the equipment and units that make up the treatment plant; the characterization and analysis of the waters of the treatment process, the latter through the curves of the nitrogen and phosphorus level behavior; the calculation of the treatment system efficiency; and lastly, an evaluation to verify that the nitrogen and phosphorus levels upon leaving the system fulfill environmental requirements. This study was developed in the facilities of a tobacco company, located in Camburito, Aragua, in its wastewater treatment plant. Among the most important conclusions obtained from the study of characterization carried out during the initial stage of stabilization of the plant, was that the failure to extract mud in the sedimentation cones was the main cause of the high ages of the mud, that ranged between 24 and 122 days, considerably above the design value of 10,5 days, and the nitrogen and DBO levels behavior during the month of March which showed that the implemented system to eliminate these parameters in its initial stage was being carried out under conditions for which it was designed: the obtained efficiencies of removal are $98,7 \pm 0,2$ % for the biochemical demand of oxygen, 92 ± 4 % for the chemical demand of oxygen; 60 ± 20 % for nitrogen and of 48 ± 18 % for phosphorus.

Keywords: Treatment, aerobic, anoxic, anaerobic, wastewater.

INTRODUCCIÓN

El control de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los vertidos líquidos es uno de los principales problemas

ambientales en el parque industrial venezolano. Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales son de tres tipos principales: ortofosfatos, polifosfatos y compuestos orgánicos de fósforo.⁽³⁾ El

nitrógeno presente en las aguas residuales está en forma de nitritos, nitratos, amoníaco y nitrógeno orgánico.⁽⁴⁾ Los altos valores de estos nutrientes pueden acelerar la eutrofización de lagos y embalses, en el caso específico de la empresa caso estudio, el cuerpo de agua afectado es el Lago de Valencia.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa, cumplía con las exigencias ambientales establecidas en el decreto 883⁽⁵⁾ del año 1995, en la cual la máxima concentración de nitrógeno y fósforo permitidas eran de 40 ppm y 10 ppm. Posteriormente, al entrar en vigencia el decreto 3.219⁽⁶⁾, en 1.999, la cual determina nuevos valores de concentración más estrictos para el nitrógeno y fósforo correspondientes a 10 ppm y 1 ppm, se deja de cumplir con la normativa, ya que los niveles de nutrientes se exceden de los límites establecidos en la nueva legislación particular para la cuenca del Lago de Valencia. Por esta razón, en el año 2.002, se dio inicio al ajuste de la planta de tratamiento de dicha empresa mostrada en la figura 1, con el propósito de disminuir los valores de estos nutrientes en sus efluentes, con un sistema basado en lodos activados mediante la combinación de zona aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas.

En la planta mostrada en la figura 1, los efluentes industriales y las aguas residuales domésticas pasan por un tratamiento primario que está conformado por una unidad de desbaste, un tanque de igualación y finalmente un tamiz. Luego, las aguas provenientes del tamiz son enviadas a un reactor aerobio. Estos efluentes pasan a un tanque de sedimentación, con dos salidas a los lechos de secado y un plato de eliminación de sólidos en flotación, el agua clarificada es enviada a un segundo reactor biológico que actúa como pulimento por aireación, luego los efluentes pasan a un segundo sedimentador secundario. Finalmente las aguas son desinfectadas en una cámara de cloración. Los lodos extraídos de los sedimentadores son llevados a unos lechos de secado.

En el sistema luego del ajuste, como se indica en la figura 2, no se realizaron modificaciones al tratamiento primario. Las aguas residuales se conducen a un tratamiento secundario, constituido por las siguientes unidades: reactor anaeróbico, reactor anóxico, reactor aeróbico o de lodos activados, sedimentador secundario del cual se derivan tres corrientes, una que constituye la recirculación de lodos a los reactores, aeróbico y anaeróbico; la segunda es

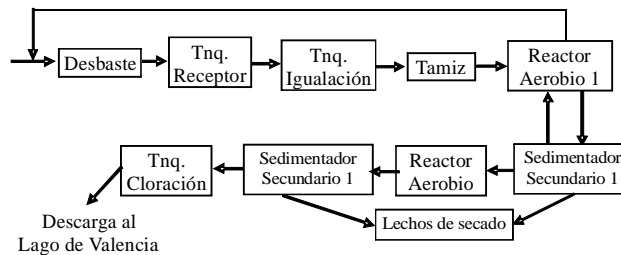


Figura 1. Diagrama de bloque de la PTAR antes del ajuste.

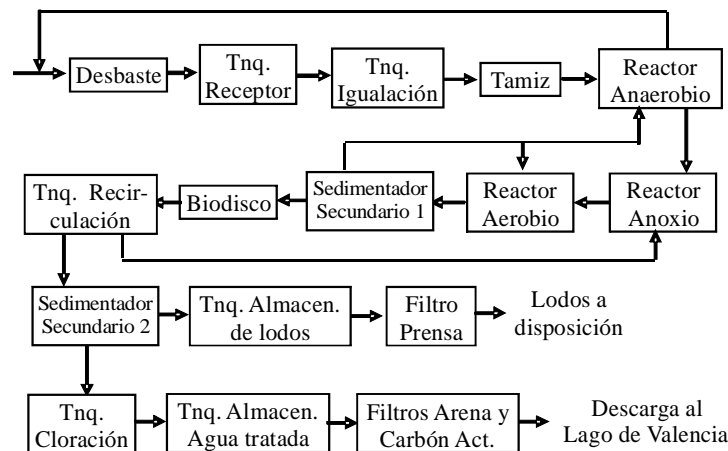


Figura 2. Diagrama de bloque de la PTAR después del ajuste.

conducida a un disco biológico rotativo, después del cual sigue un segundo sedimentador; y la tercera lleva el lodo al tanque de almacenamiento de lodos. Seguidamente, las aguas que resultan del tratamiento secundario pasan a un tratamiento final, denominado tratamiento avanzado, y está constituido por una cámara de cloración, tanque de almacenamiento de agua, filtro de arena, y por último se tiene un filtro de carbón activado. Del segundo sedimentador se conduce el sedimento al tanque de almacenamiento de lodos, y finalmente es dirigido hacia un filtro prensa. El agua que se extrae del filtro es recirculada al tanque de igualación.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa tabacalera, con la finalidad de proporcionar una evaluación correspondiente al comportamiento y desempeño de la planta en su fase inicial.

Las estrategias utilizadas para cumplir el propósito del proyecto, consisten en el proceso de recopilación de información acerca de la generación de efluentes en la planta procesadora de tabaco, y la información relacionada con los equipos de la planta a implementar. También se tiene la caracterización de las aguas del proceso y el análisis respectivo de los resultados experimentales; la determinación de la eficiencia del tratamiento y la verificación del cumplimiento de las leyes ambientales con respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo.

El desarrollo de este trabajo, permite contar con un análisis del sistema que facilite la realización de correcciones a tiempo y el mejoramiento del funcionamiento de las unidades que operan en la planta de tratamiento, permitiéndole a la empresa contribuir con la preservación del ambiente y a cumplir de esta forma con las normativas establecidas por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables.

METODOLOGÍA

Identificación de los factores que inciden en el incremento de los niveles de fósforo y nitrógeno en las aguas residuales de la empresa

Para identificar los factores que inciden en el incremento de los niveles de fósforo y nitrógeno en las aguas residuales de la empresa, se recopiló la información relacionada con el proceso de producción: descripción general y generación de efluentes de cada etapa de la elaboración del producto; además de, establecer las diferentes fuentes de materia prima y productos químicos utilizados y sus respectivas características físicas y químicas.

Se realizó una inspección en la empresa, etapa por etapa y de los planos de la misma, verificándose los puntos de descarga de aguas residuales. Se recopilaron las caracterizaciones efectuadas durante el año 2.002 desde el mes de enero hasta el mes de noviembre y se llevó a cabo la interpretación de las mismas, para conocer el comportamiento de los parámetros contaminantes más importantes en el período anterior a la adecuación de la planta.

Se realizó un diagnóstico a los equipos y productos químicos empleados en el tratamiento, a través de observaciones directas, recopilación de los datos de funcionamiento y evaluación de la operatividad de los equipos de la planta de tratamiento.

Diagnóstico de los procesos y las unidades que conforman el sistema de tratamiento de efluentes

Se revisó el manual donde se presentan las bases y procedimientos para la operación del sistema de tratamiento existente antes de su ajuste y ampliación, para establecer si las actividades ejecutadas para el mantenimiento de la planta inciden en el incumplimiento de la legislación en los valores de nitrógeno y fósforo a la salida del sistema. El diagnóstico que se realiza a la etapa preliminar existente consiste en una revisión física.

Se revisa la documentación relacionada con el diseño de la planta de tratamiento implementada, a través de la identificación de variables, ecuaciones de diseño y tablas de dosificaciones recolectadas de la bibliografía (7). Además se realizó un recorrido continuo del proceso de construcción y acondicionamiento de la planta, durante el tiempo de adecuación, el cual se llevó a cabo de febrero a noviembre del 2.003.

Arranque y puesta en marcha del sistema

Una vez concluido el proceso de montaje, se inició el arranque de la planta de tratamiento con la aclimatación del lodo biológico en cada uno de los tanques. Para ello se alimentaron los tanques anaerobio y anoxio con dos cargas de lodo, cada uno, provenientes del sedimentador secundario primera etapa, además de la adición 8.500L de lodo biológico anaerobio y anoxio, respectivamente, proveniente de una planta externa. En el proceso de aclimatación, se pasó una carga de efluente a razón de 0,5 L/s por espacio de 30 minutos para ponerla en contacto con la biomasa. Durante este período se efectuaron las mediciones de los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), con una

frecuencia de 2 veces por semana durante 3 meses. La alimentación de agua cruda se realizó de forma progresiva en cuanto a tasa y tiempo de alimentación hasta que el proceso fue continuo y se alcanzaron los caudales de operación que son de 1 L/s y 2 L/s. Para monitorear la aclimatación del lodo se utilizaron pruebas físicas como la determinación de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos volátiles en los tres reactores (anaerobio, anoxio y aerobio).

Arranque del Contactador Biológico Rotativo (Biodisco)

En la unidad del biodisco se alimentó una carga de lodo biológico de la empresa externa de 8.000L, una carga del sedimentador secundario (1ra. Etapa) y una carga de agua cruda. Una vez puesto en marcha el contactador biológico rotativo, se verificó el buen funcionamiento del mismo mediante la formación de una película biológica muy delgada sobre la superficie sólida de los discos.

Control para estabilización

Luego de que se comenzó a suministrar agua residual al sistema de manera continua, con un caudal de entrada al tanque anaerobio de 0,5 L/s, se efectuaron análisis correspondientes a los diferentes parámetros de carga orgánica (DBO, DQO y SSV); además de los parámetros típicos, como lo son: pH, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos sedimentables, con una frecuencia de 2 veces por semana durante 3 meses.

Caracterización de los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento

En el transcurso de las cuatro semanas de estabilización inicial de la planta de tratamiento, se realizó la toma de muestras. Para efectuar la caracterización de los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento se determinaron los puntos de muestreo y el período e intervalo de muestreo. El tiempo de muestreo establecido se llevó a cabo del 1/03/2.004 al 26/03/2.004. Esta caracterización se llevó a cabo en el transcurso del primer mes luego del arranque para monitorear el funcionamiento de la planta en la fase de estabilización inicial.

Las muestras recogidas fueron del tipo compuestas, formadas por 8 submuestras tomadas en cada punto de captación a diferentes intervalos de tiempo, siendo el volumen de la alícuota para los puntos correspondientes a la entrada y salida del sistema de 500 mL; y de 125 mL para las de los tanques biológicos (anaerobio, anoxio y aerobio). Estas submuestras se tomaron cada 60 minutos en un día de muestreo para cada punto de captación. El tiempo de

muestreo fue de ocho (08) horas, durante un total de 10 días, después del control realizado para la estabilización y durante todo el mes de marzo. El tiempo de retención hidráulica en el reactor aerobio es de 147 h.

Los puntos de captación de las muestras fueron: entrada al tanque de igualación, reactor biológico aerobio, reactor anaerobio, reactor anoxio, salida del agua del segundo sedimentador secundario.

Al momento de la toma de muestras se realizaron algunos análisis de campo, los cuales se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Mediciones de campo

	T. anóx.	T.anae.	T. aero.	Ent.	Sal.
pH, T	X	X	X	X	X
SS	X	X	X		

Posteriormente, a las muestras correspondientes a la entrada del agua residual al sistema (entrada al tanque de igualación) y salida del efluente del sistema (salida del segundo sedimentador secundario), se les determinaron los siguientes exámenes fisicoquímicos: DBO_{5, 20°}, DQO, Fósforo total, Nitrógeno orgánico Kjeldahl, Sólidos disueltos (filtrables), Sólidos totales. En los tres reactores biológicos (anaerobio, anoxio y aerobio) se determinaron sólidos suspendidos y sólidos suspendidos volátiles. Estos exámenes se realizaron siguiendo el procedimiento establecido en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales⁽¹⁾.

Análisis y valoración de los resultados experimentales obtenidos de la caracterización de las aguas del proceso antes y después del sistema de tratamiento de aguas residuales a implementar

El análisis de los resultados experimentales obtenidos de la caracterización de los afluentes y efluentes se llevó a cabo mediante la interpretación de los datos analíticos frente a los criterios de valoración establecidos.

Los criterios utilizados en la evaluación de las características analizadas en los vertidos de aguas residuales son los reflejados en la legislación nacional. En este caso el decreto N° 3.219, Gaceta Oficial N° 5.305 del año 1.999; también los parámetros y rangos de operación óptima de los equipos, como es el caso de los valores de sólidos suspendidos volátiles y oxígeno disuelto en un reactor biológico. Y por último con los valores que arrojaron las caracterizaciones del año 2.002, previos al ajuste del sistema de tratamiento con el objeto de verificar el funcionamiento adecuado de las unidades, existentes y nuevas, que conforman la planta de

tratamiento.

Es importante señalar que la remoción calculada sólo presenta una aproximación, dado que no ha transcurrido el tiempo de residencia total en el cual el agua cruda es tratada, en cada unidad del sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 3 y 4 se muestran los valores de los niveles de DBO y DQO, y en las figuras 4 y 5 se presentan los niveles de nitrógeno y fósforo a la salida del tanque clorinador de la planta antes del ajuste, para los meses comprendidos entre enero y noviembre del año 2.002. En estos gráficos se observa, especialmente en el caso de las concentraciones de fósforo y nitrógeno, que exceden considerablemente el valor límite permisible, teniendo unos valores promedios en ese año de 3 ± 1 mg/L y 15 ± 1 mg/L, respectivamente y llegando a alcanzar valores máximos de 6,4 mg/L, para el fósforo y de 18,4 mg/L para el nitrógeno. Por esta razón en el año 2.002, la empresa decide, realizar un ajuste del sistema de tratamiento con la finalidad de que los valores de nitrógeno y fósforo a la salida del sistema, estén por debajo de los nuevos límites establecidos.

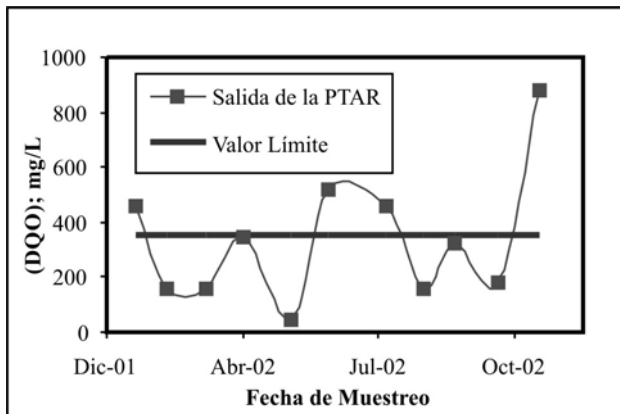


Figura 3. Valores de la DBO durante el año 2.002.

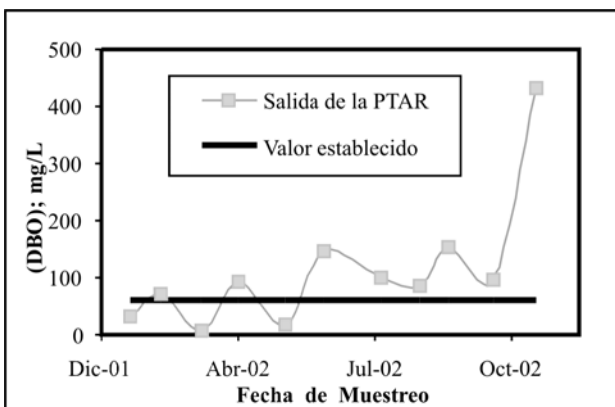


Figura 4. Valores de la DQO durante el año 2.002.

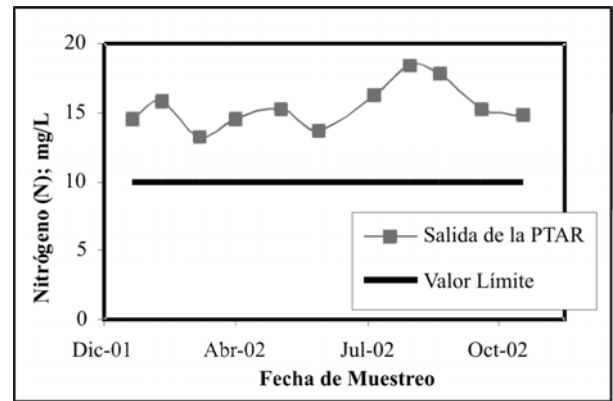


Figura 5. Niveles de Nitrógeno en el año 2.002.

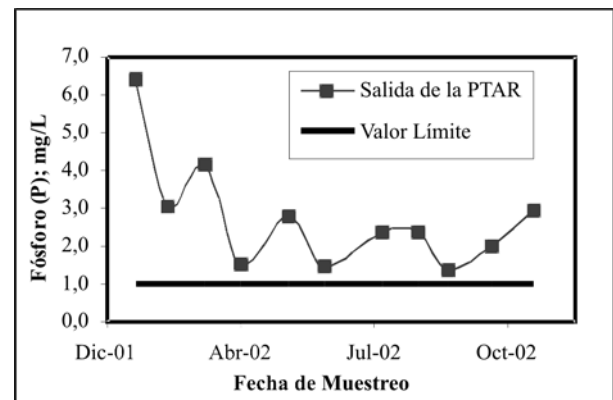


Figura 6. Niveles de Fósforo en el año 2.002.

Todas las aguas residuales que se generan del lavado de los equipos; tanques, tuberías y pisos, se dirigen a los canales y tanquillas de drenaje, cuyo mantenimiento consiste en el retiro de sedimentos y lavado con agua.

El desecho más importante removido en las actividades de mantenimiento es residuos de pasta; la cual presenta una alta carga de materia orgánica, ya que las materias primas y sustancias son de origen orgánico. Los compuestos de fósforo son componentes característicos de los organismos vivos y son liberados por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos y animales, así como las aguas procedentes de las industrias que procesan materiales biológicos, constituyen las fuentes principales de los compuestos de fósforo. No ha habido ningún cambio en la operación o en la producción de la planta procesadora de tabaco que origine el incremento de los niveles de nitrógeno y fósforo. La razón del incumplimiento de la empresa con la legislación es debido al establecimiento de nuevos valores límites de los mismos.

Los resultados experimentales obtenidos indican que las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles en la mayor

parte del proceso de arranque se han mantenido con un valor promedio de 8.200 mg/L, 6.600 mg/L y 5.800 mg/L para los reactores anaerobio, anoxio y aerobio, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango estimado como apropiado para el proceso biológico llevado a cabo en esta planta de entre 5.800 y 8.800 mg/L (7), por lo que se considera que para una etapa inicial de estabilización del lodo, existe una buena aclimatación de la biomasa.

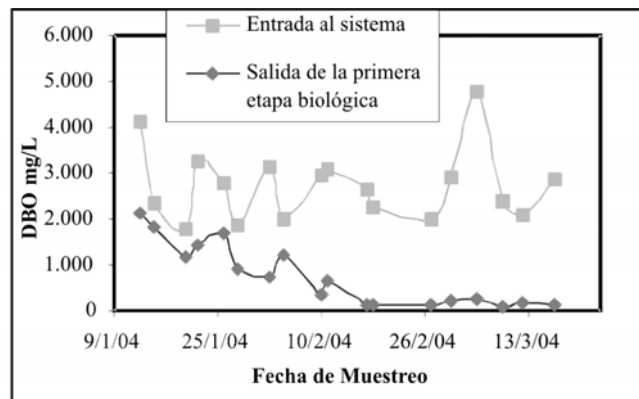


Figura 7. Representación de la DBO durante el período de arranque.

En la figura N° 7 se presenta el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno para el período de arranque, que se lleva a cabo en el transcurso de los meses de enero, febrero e inicios de marzo de 2.004. En ella se observa como a partir de mediados del mes de febrero la remoción de materia orgánica se incrementó, alcanzando valores en la salida del primer sedimentador secundario entre 113 y 270 mg/L y aunque no fueron uniformes, son indicativos de la aclimatación de los microorganismos anaerobios, aerobios y anoxios, a medida que transcurre el tiempo de arranque del sistema. Se verifica, la estabilización del biodisco mediante la formación de una película biológica muy delgada sobre la superficie sólida de los discos, la cual se visualizó en el transcurso del proceso de aclimatación.

En la tabla 2 se muestran los valores de DBO y DQO obtenidos para el período de tres semanas de muestreo después del arranque, en la entrada al tanque de igualación y en la salida del segundo sedimentador secundario. Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno, estos valores se encuentran por debajo del límite permisible 60 mg/L establecido por la legislación ambiental.

Esto indica que el tratamiento biológico es capaz de descomponer la materia orgánica asimilable. Cabe destacar que la degradación de la materia orgánica ocurre principalmente en el reactor de lodos activados y en el biodisco.

Tabla 2. Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y de la Demanda Química de Oxígeno en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fecha de muestreo	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20}) mg/L		Demanda química de oxígeno (DQO) mg/L	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
03/03/04	1560	25	7536	567
05/03/04	1790	26	31460	640
10/03/04	1932	17	24920	690
12/03/04	2040	27	960	830
25/03/04	2061	21	8450	630
26/03/04	1200	18	11200	753
27/03/04	1553	24	4620	1020

La DQO no disminuye lo suficiente para cumplir con el valor de concentración máximo permitido por la legislación ambiental, de 350 mg/L. Esta situación se puede atribuir a que no está operativo el sistema de dosificación de químicos que permiten regular el pH y eliminar en forma de sales ciertos compuestos químicos, que no son tratables por el sistema biológico secundario. Adicionalmente, en el tanque de igualación se observa que los difusores se encuentran dispuestos de un solo costado del tanque lo cual no garantiza la mezcla completa del oxígeno suministrado con las aguas residuales; en lo que respecta al mantenimiento, no se cuenta con un sistema de descarga o de remoción de los lodos acumulados producto de la sedimentación de cal en el mismo, la cual se utiliza para el control de pH.

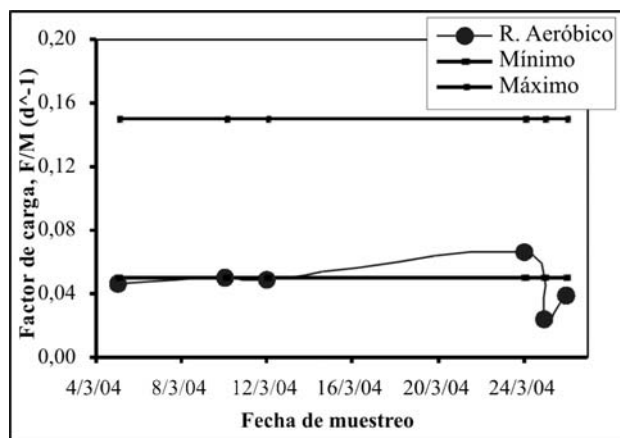


Figura 8. Comportamiento del Factor de Carga en el mes de marzo 2.004.

Con respecto al funcionamiento del sistema biológico, una de las variables más importantes para el control de un reactor basados en lodos activos es el factor de carga (F/M) que no es más que la razón de sustrato a microorganismos. Esta variable, según los autores Metcalf y Eddy, debe oscilar en el rango de 0,05 a 0,15 d⁻¹. De acuerdo a la figura N° 8, se puede observar que los valores oscilan en el rango de 0,02

d^{-1} a $0,07 d^{-1}$. Los puntos que se encuentran por debajo de dicho valor son el resultado de que existe en el reactor biológico una mayor cantidad de microorganismos en comparación a la carga orgánica (alimento). Por consiguiente los microorganismos toman el camino de la respiración endógena. El sustrato se convierte casi por completo en CO_2 , H_2O y formas estables de N_2 ; además no existe casi acumulación de lodos aunque el material citoplasmático rico en proteínas y ácidos ribonucleico sea metabolizado durante este proceso de respiración endógena, siendo el residuo principal, las cápsulas celulares, las cuales son muy livianas y resistentes a la sedimentación.⁽⁷⁾ Adicionalmente con un valor del F/M debajo del límite mínimo, se puede estar en presencia de condiciones anaeróbicas, más aún sino se ha puesto operativo el sistema de deshidratación y recolección de lodo de desecho, lo que se puede observar por la presencia de oleadas de espuma oscura y densa. A nivel operativo, para solventar esta situación, se debe disminuir la tasa de recirculación de lodo y acondicionar el filtro prensa que es la unidad encargada de la disponibilidad del lodo desechado del sistema. Esta medida no se tomó antes de la culminación de esta investigación, teniendo como consecuencia la recirculación de lodo biológico en condiciones anaeróbicas a través de todo el sistema, afectando la eficiencia de remoción del sistema.

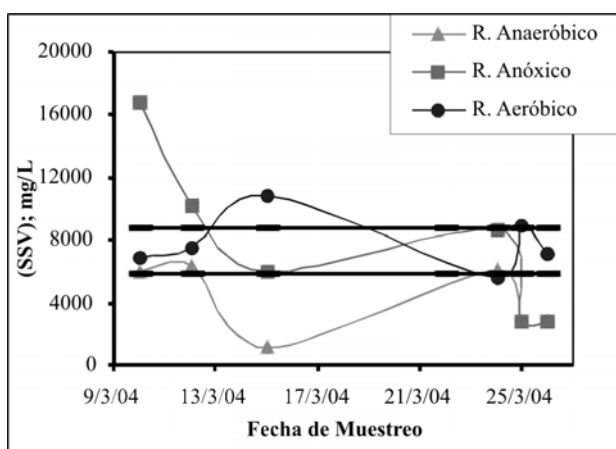


Figura 9. Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Volátiles en los reactores biológicos.

Los reactores que tienen una mayor concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV), presentan menores valores con respecto al oxígeno disuelto y de igual manera con relación a la DBO final, y también se corresponde con un valor alto de eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes. La planta de tratamiento de aguas residuales evaluada debe trabajar con una concentración estándar de sólidos suspendidos volátiles comprendida en el rango 5800 y 8750 mg/L. El reactor aerobio se ajusta a las condiciones de operación definidas, mientras que los reactores anaerobio y anoxio solo cumplen con el rango en dos y tres puntos,

ver figura 9. Esto se debe a que dichos reactores forman parte de las nuevas unidades del sistema que se encuentran en un proceso de aclimatación en el cual se espera que se desarrollen las bacterias necesarias en cada unidad.

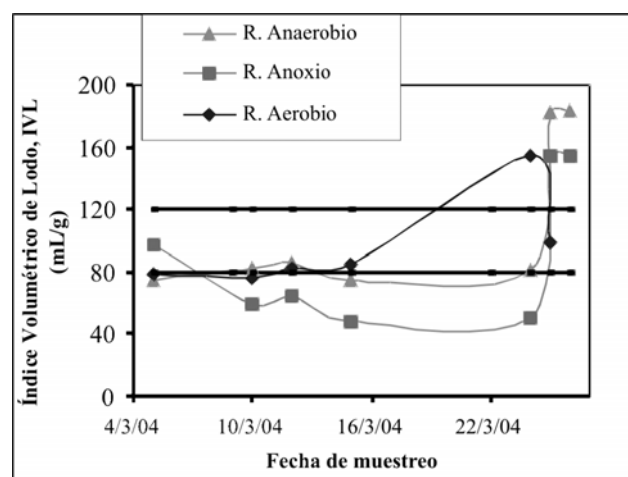


Figura 10. Comportamiento del Índice Volumétrico de Lodos en los reactores biológicos.

En la figura N° 10, se muestra el Índice Volumétrico de Lodo (IVL) durante el mes de marzo del 2.004. Los valores que están por debajo de 80 indican que la calidad del lodo es poca, ya que la cantidad de sólidos en los reactores es mucho mayor a su tasa de sedimentación. Si por el contrario el IVL aumenta por encima de 120 se podría estar en presencia de un lodo liviano con presencia de organismos filamentosos, también puede indicar que el lodo está viejo y esponjoso (no sedimenta), por lo que se requiere tomar medidas preventivas a fin de evitar el deterioro del lodo en los reactores, como activar la purga de lodos hacia el filtro prensa, ya que al estar en presencia de un lodo con estas características la eficiencia de remoción del sistema disminuye. En la gráfica anterior se observa que el IVL para el reactor aerobio se ajusta al rango de operación, mientras que los reactores anaerobio y anoxio no se ajustan adecuadamente, esto se debe a que la biomasa en los mismos está en proceso de aclimatación.

Las concentraciones de nitrógeno en la salida del sistema de tratamiento van disminuyendo a medida que transcurre el período de estabilización de la planta estimado en un año aproximadamente. Los niveles de nitrógeno obtenidos en la salida del sistema biológico oscilan entre 1,29 y 16,27 mg/L, teniendo un valor promedio de 7 ± 4 mg/L, valores en su mayoría por debajo de los límites exigidos por la legislación nacional. De esta forma se verifica que el sistema biológico de eliminación de nitrógeno, basado un proceso de predesnitrificación, para una etapa inicial de su arranque está respondiendo favorablemente según los requerimientos. Ver tabla 3.

Tabla 3. Niveles de Nitrógeno Orgánico y del Fósforo Total en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fecha de muestreo	Nitrógeno Orgánico (N) mg/L		Fósforo Total (P) mg/L	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
01/03/04	25,2	16,3	10,6	17,0
03/03/04	14,7	13,5	12,2	14,4
05/03/04	70,2	4,5	22,9	12,5
09/03/04	13,8	6,6	11,1	29,4
10/03/04	23,7	9,6	22,6	15,1
12/03/04	10,8	2,5	17,0	12,7
22/03/04	14,6	5,5	15,6	3,2
24/03/04	10,9	1,3	12,1	2,3
25/03/04	15,6	2,9	15,7	8,2
26/03/04	16,2	7,7	10,6	8,2

Sin embargo, el proceso de eliminación de fósforo requiere que se realicen correcciones en uno de los parámetros críticos: la edad del lodo. En la Tabla 3, se observa que en los días de muestreo 1, 3, y 9 de marzo, hubo un incremento en las concentraciones de salida del fósforo con respecto a los valores de la entrada y aún en los otros días donde no se reportó un aumento, la remoción de este parámetro no es elevada. En la empresa no se dispone de una operación de purga de lodo de desecho en el sedimentador secundario (primera etapa), esto se debe a que no se ha colocado en funcionamiento el tratamiento de disposición de lodos, específicamente el filtro prensa, por lo que la evacuación de lodo es muy baja y prácticamente todo el fango del sistema se esta recirculando, trayendo como consecuencia que las edades de los lodos biológicos, comprendidas entre 24 y 122 días, sean muy elevadas con respecto al valor de diseño, de 10,5 días (ver fig 11).

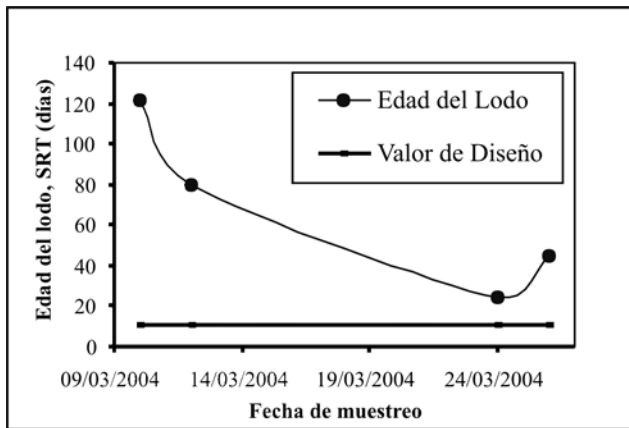


Figura 11. Edad del Lodo en el sistema biológico durante marzo del 2.004.

Al trabajar con elevadas edades del fango, se crean condiciones anaerobias en el sedimentador y esto produce la disminución en el rendimiento de la eliminación potenciada, consecuencia de la liberación de fósforo al medio asociada al consumo de materia orgánica procedente de la biomasa endógena.⁽³⁾ Al comparar el comportamiento de los valores en la figura N° 11 con los presentados en la tabla 3, se observa que en el día que se registró el valor de 122 días de edad del fango, el incremento del nivel de fósforo a la salida, con respecto a la entrada, fue el mayor, alcanzando un valor de 29,40 mg/L con respecto a 11,11 mg/L. En los días posteriores, al disminuir la edad del lodo, no se registra un aumento en las concentraciones de la salida con respecto a la entrada. Las concentraciones de fósforo en los efluentes del sistema de tratamiento se encuentran entre 2,25 y 29,40 mg/L con un valor promedio de 12 ± 6 mg/L.

Tabla 4. Porcentaje de remoción de la materia orgánica en la PTAR.

Fecha	Porcentaje de remoción (E_{REM})%	
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5,20})	Demanda química de oxígeno (DQO)
03/03/04	98,4	92,5
05/03/04	98,6	98,0
10/03/04	99,1	97,2
12/03/04	98,7	91,4
25/03/04	99,0	92,5
26/03/04	98,5	93,3
27/03/04	98,4	77,9

El valor promedio del porcentaje de remoción de DBO es de $98,7 \pm 0,2$ %, valor mayor al promedio obtenido en el año 2.002. Año antes del ajuste, igual a 91 ± 6 %, y muy cercano al establecido en el diseño de 99%. El promedio de eficiencia con respecto a la DQO fue de 92 ± 4 %, valor superior al promedio de año 2.002 de 87 ± 6 %. Como se puede observar, el último día de muestreo se obtuvo el menor valor de remoción con respecto a la DQO, día en el cual se verificó un incremento de la edad del lodo que afectó al sistema por cuanto disminuyó también la eficiencia de remoción de los nutrientes.

Sin embargo, pese a las limitaciones de tiempo, comparándose los valores de eficiencia en los días en que se llevaron a cabo los análisis, con los valores iniciales antes de la adecuación de la planta, aún en una etapa inicial del arranque, el nivel de tratamiento del agua y capacidad de remoción en términos de materia orgánica, es mayor.

Tabla 5. Porcentaje de remoción de nutrientes en la PTAR.

Fecha	Porcentaje de remoción (E _{REM})%	
	Nitrógeno Orgánico	Fósforo Total
01/03/04	35,5	0
03/03/04	7,8	0
05/03/04	93,6	45,6
09/03/04	52,4	0
10/03/04	59,3	33,2
12/03/04	76,6	25,3
22/03/04	62,2	79,8
24/03/04	88,2	81,4
25/03/04	81,2	47,8
26/03/04	52,6	22,3

En el caso del fósforo, la eficiencia se ve afectada por las condiciones de sedimentación en las que se encuentra trabajando el sistema, lo que ocasiona que se tengan porcentajes de remoción entre 0 y 81,4 %, y un valor promedio de 42 ± 22 %, valores más bajos que el obtenido en el año 2.002 de 68 ± 5 %. Pero es importante destacar que en el año previo a la adecuación si se contaba con un sistema de disposición de lodos, lo cual permitía la extracción diaria del fango de desecho. En cuanto a la remoción de nitrógeno, se tienen porcentajes de eficiencia comprendidos entre 7,8 % y 93,6 %; con un valor promedio de 60 ± 20 %, valor por debajo del obtenido en el año previo al arranque igual a 67 ± 10 %.

CONCLUSIONES

La razón del incumplimiento de la empresa con respecto a los niveles de nutrientes y materia orgánica biodegradable, antes del ajuste de la planta de tratamiento, se debe al alto contenido de materia orgánica proveniente de la planta procesadora de tabaco, con valores que oscilan entre 286 y 5.200 mg/L en términos de DBO y 590 y 10.020 mg/L con respecto al DQO.

El reactor aerobio se ajusta al rango de concentración estándar de sólidos suspendidos volátiles 5.800 y 8.800 mg/L, con valores comprendidos en 5.600 y 10.800 mg/L, mientras que los reactores anaerobio y anoxio no presentan características adecuadas de sedimentación.

Las edades del lodo oscilan entre 24 y 122 días; valores que superan considerablemente el valor de diseño de 10,5 días.

El porcentaje de remoción de la DBO después de la adecuación del sistema de tratamiento de las aguas residuales, presentó un valor de $98,7 \pm 0,2$ %, valor superior

al promedio del año 2.002 igual a 91 ± 6 %. La eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno, presentó un valor de 92 ± 4 %, después del ajuste del sistema de tratamiento de las aguas residuales, superando el valor alcanzado en el año 2.002 de 87 ± 6 %.

La eliminación de nitrógeno en el sistema de tratamiento ha respondido favorablemente en la etapa inicial, por cuanto a la salida del sistema se obtienen concentraciones por debajo de 10 mg/L con un valor promedio de 7 ± 4 mg/L, mientras que los niveles de fósforo no cumplen con la legislación respectiva, presentando un valor de 12 ± 6 mg/L.

REFERENCIAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (20^{va} Ed.). 2: 54-60; 4: 105-107, 129-130, 145-146; 5: 3-6, 14-15.
2. CENPROACA, C.A. (2.000). *Manual de operación planta de tratamiento de aguas residuales industriales. Estudios Ambientales*.
3. COTORUELO, L.M. Y MARQUÉS, M.D. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. Eliminación de Nutrientes en Aguas Residuales: Eliminación del Fósforo. *Revista Ingeniería Química*, (España) Volumen 363: 139-146.
4. COTORUELO, L.M. Y MARQUÉS, M.D. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales. Eliminación de Nutrientes en Aguas Residuales: Eliminación del Nitrógeno. *Revista Ingeniería Química*, (España) Volumen 365: 161-166.
5. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (1995). *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, GORV N° 5.021, Caracas, 883.
6. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (1999). *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, GORV N° 5.305, Caracas, 3.219.
7. MANUAL DE DISEÑOS AMBIENTALES, C.A. Proyecto ambiental de la planta de tratamiento de efluentes industriales de la empresa Tabacalera – Camburito. (2002). Aragua.
8. METCALF & EDDY. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales (Procesos Químicos Unitarios)*. McGraw-Hill. México. 354-355.