

Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola

Adriana M. Márquez R, Edilberto Guevara P.

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Email: ammarque@postgrado.uc.edu.ve, eguevara@thor.uc.edu.ve

Resumen

Esta investigación tiene como finalidad evaluar el funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. Para el análisis se usaron los resultados del monitoreo de cada unidad del sistema considerando la eliminación de los parámetros ambientales más significativos, es decir, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). El funcionamiento del sistema se evaluó mediante un balance de masa y el cálculo de la eficiencia de cada caudal. Los resultados del análisis indican que para mantener la concentración del flujo de salida del sistema de tratamiento conforme a la normativa nacional sobre descargas a cuerpos de agua, es decir reducir la DBO, DQO y SST con una eficiencia mayor que el 95 %, sólo se deben procesar 1434 kg/día de lodos.

Palabras claves: Industria avícola, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sistema de tratamiento de aguas residuales.

Description and analysis of the performance of a residual treatment water system in a poultry industry

Abstract

This research deals with the description and evaluation of the performance of a residual water treatment system in a poultry industry. The results of the monitoring of each unit of the treatment system were used for the analysis, considering the most important environmental parameter: DBO, DQO and TSS. The performance of the system was analyzed through the mass balance and the estimation of the efficiencies of each unit. The results of the analysis indicate that in order to maintain the outlet's flow concentration of the treatment system according to the material environmental regulation on water discharges, that is, to reduce DBO, DQO and TSS with a system efficiency greater than 95 %, only 1434 kg/day of mud should be processed..

Keywords: Poultry industry, biochemical demand of oxygen, chemical demand of oxygen, total suspended solids, system of treatment of residual waters.

1. INTRODUCCIÓN

El hombre ha hecho esfuerzos para captar y tratar las aguas residuales. Si bien, la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos; la recolección de aguas residuales no aparece sino a principios del siglo XIX, y el tratamiento sistemático de estas últimas, sólo se inicia a finales del siglo XIX y principios del siglo XX [1]. A fines del siglo XX, menos del 14 % de los 600 m³/s de aguas residuales colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares. De ellas, sólo

un 6 % recibían un tratamiento aceptable [2].

En Venezuela, el 93 % de la población es urbana y la mayoría de los centros poblados no dispone de sistemas de tratamiento y disposición de las aguas servidas. Por lo tanto, la contaminación de los ríos tiene su origen en los afluentes de desechos de dichas zonas y en algunas industrias causantes de un alto grado de contaminación porque tampoco disponen de un sistema de tratamiento. Para controlar la contaminación del

agua, el marco institucional y jurídico usado está definido por tres instrumentos legislativos fundamentales: la Ley Orgánica del Medio Ambiente, la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial y la Ley Penal del Ambiente. La primera define los objetivos generales de conservación ambiental, la segunda asigna la responsabilidad de la planificación y la ordenación de los recursos ambientales al Ministerio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (MARN) y la tercera, junto con sus normas técnicas, fija las sanciones por las infracciones en perjuicio del medio ambiente. El MARN ha establecido un registro donde constan más de 2.400 fuentes de contaminación del agua localizadas, incluidas 1.528 industrias, de las cuales 374 han establecido procesos de tratamiento de aguas residuales como resultado de las regulaciones establecidas [3]. En Carabobo se han inscrito entre el 27/07/1992 y el 18/05/2004 un total de 1204 Empresas en el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (RASDA) controlado por el MARN, de las cuales 211 generan efluentes residuales y sólo 117 han instalado plantas de tratamiento. En cuanto al tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) utilizado, el 54 % posee sólo tratamiento físico-químico, un 3 % sólo biológico, y un 43 % una combinación de ambos [4].

En el Estado Carabobo, entre 1204 empresas inscritas en el RASDA, la industria avícola representa el 21 % [4], razón por la cual constituye una importante fuente de contaminación de los cuerpos de agua ya que puede llegar a consumir hasta 12 l/ave en el proceso de beneficio. Este gasto se debe a las actividades realizadas durante la jornada tales como, recambio de agua en los chillers y escaldadoras, como medio de transporte de sólidos en los canales de evisceración, limpieza de mollejas, limpieza de instalaciones y lavado de camiones de transporte de aves. Los efluentes generados poseen una alta concentración de materia orgánica biodegradable, la cual se encuentra bajo la forma de sólidos suspendidos y disueltos, lo cual hace necesario trasladar las aguas hasta la planta de tratamiento para su depuración [5]. Esta investigación trata sobre el análisis del funcionamiento de las unidades que componen un STAR de una industria avícola que beneficia 140.000 aves/día y usa un caudal de 23 l/s. La planta es operada en una jornada de dos turnos laborales diarios. Hay que notar que la planta se diseñó para 160.000 aves/día y con un caudal de 40 l/s. En primer lugar se presenta en

esta investigación la descripción del STAR, luego los resultados del seguimiento de los constituyentes del agua residual, finalmente se hará un análisis de los procesos que tienen lugar en cada unidad, basado en un balance de masas y en la eficiencia de operación de cada unidad.

2. DESCRIPCION DEL SISTEMA

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del tratamiento del agua y de los lodos, conjuntamente con las unidades que conforman el STAR. Las primeras unidades, son una combinación de operaciones físicas y procesos biológicos, que operan en la siguiente secuencia: desbaste, tanque de homogeneización, flotación por aire disuelto (FAD), lodos activados, biodisco y tanque de cloración. Las unidades para el manejo de lodos, incluyen tanques para depósito por separado de lodos de FAD y biológicos. A continuación se describe resumidamente cada una de las unidades del STAR:

Desbaste

Es la primera unidad del STAR, constituye un proceso físico de tratamiento preliminar, cuyo objetivo es eliminar sólidos de gran tamaño, tales como; guantes, mascarillas, trozos de madera, bolsas; que puedan interferir con el buen funcionamiento de las bombas del tanque de homogeneización. La unidad de desbaste, consta de un sistema de dos rejillas, construidas con barras circulares $\varnothing 3/8''$, colocadas en posición inclinada con un ángulo de 45° a lo largo de un canal de dimensiones 1 x 3 x 0.6 metros. Las barras tienen una separación de 2.0 cm.

Tanque de Homogeneización

Es la unidad que sigue al desbaste, es una estructura de concreto, con forma de cono truncado, y una capacidad de almacenamiento de 1000 m^3 . Aquí se lleva a cabo una operación física de homogeneización por aire y el ajuste de un caudal constante de bombeo hacia las unidades posteriores. En la Figura 2 se muestra el proceso en forma más detallada. La aireación es producida por dos aireadores mecánicos, cada uno con una capacidad de transferencia de oxígeno y el movimiento circular es proporcionado por motores con una potencia de 15 Hp que operan ininterrumpidamente las 24 horas del día, los cuales tienen como finalidad mantener mezcladas el agua residual del proceso industrial, el efluente generado por

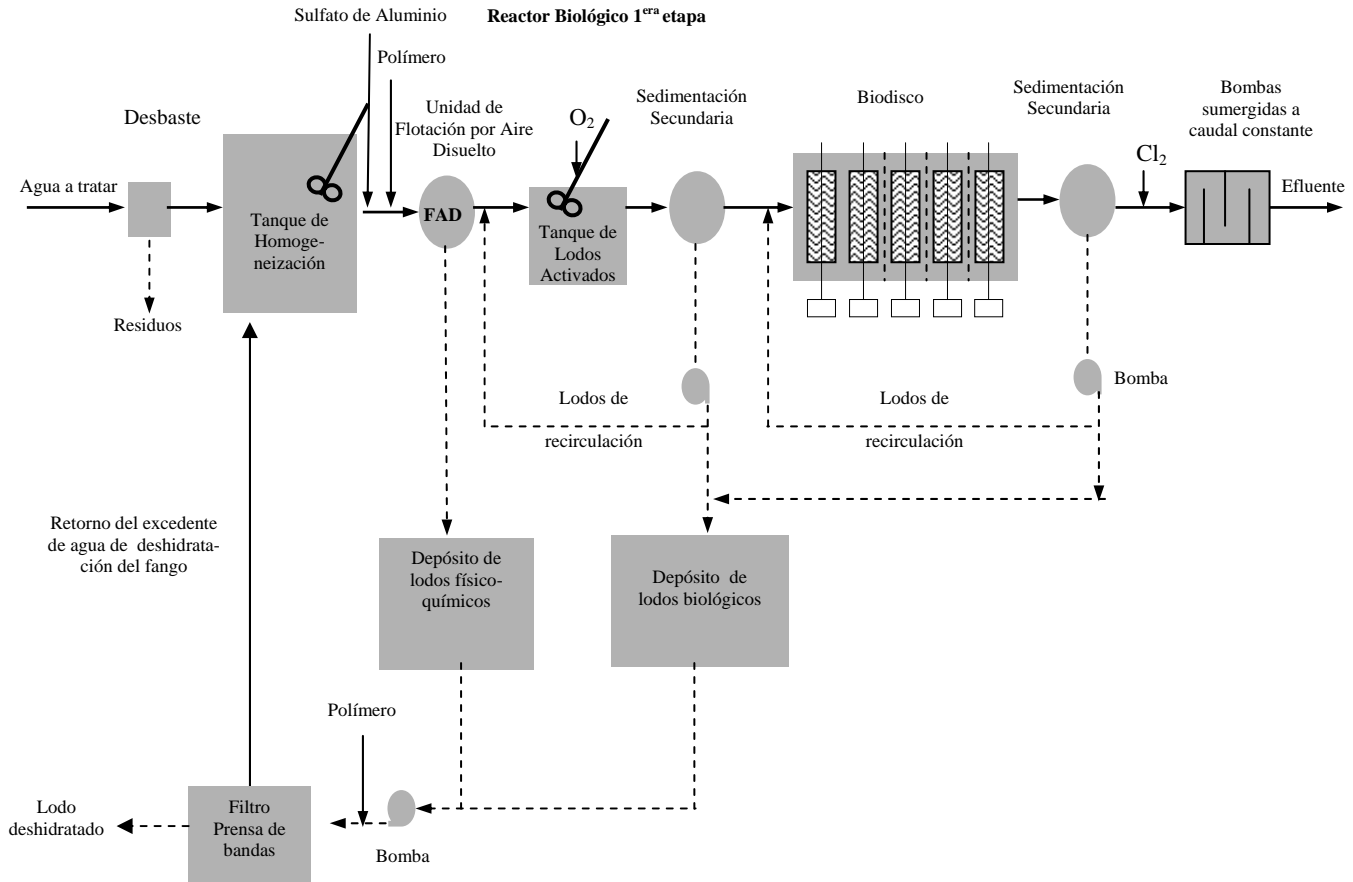


Figura 1. Componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales.

la deshidratación de los lodos y el remanente almacenado en el tanque. El agua se extrae mediante bombas sumergidas, cada una con una capacidad de bombeo de 40 l/s.

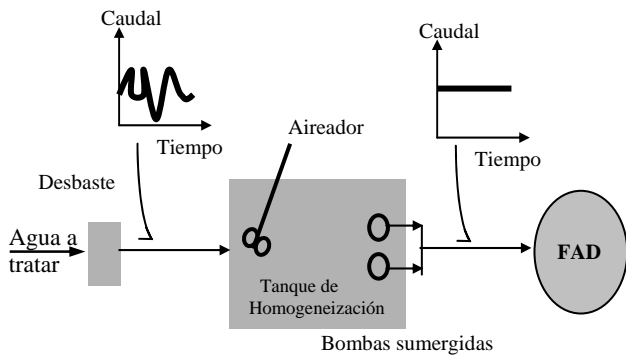


Figura 2. Tanque de homogeneización.

Flotación por Aire Disuelto (FAD)

Esta unidad sigue al tanque de homogeneización. En la FAD se lleva a cabo la operación física de flotación, cuya finalidad es reducir en un 95 % la

concentración de los sólidos en suspensión, aceites y grasas presentes en el agua sometida a tratamiento. La unidad FAD está constituida por un tanque circular metálico con una capacidad de 150 m³ y 50 m² de área superficial, dos sistemas barrelosos ubicados tanto en la superficie como en el fondo del tanque, una cámara metálica circular central, un canal de descarga, dos tolvas metálicas superficiales y un sistema difusor de las burbujas de aire. La Figura 3 muestra el flujograma del proceso FAD: una vez que el agua residual penetra en la cámara central, una fracción de los sólidos es transportada por burbujas de aire hacia la superficie, formando lodos que flotan en la superficie y salen por aberturas de la cámara central hacia la superficie exterior donde son eliminados por barrelosos que los arrastran hacia tolvas que descargan en el depósito de lodos FAD. Las burbujas de aire se generan como sigue: se inician en el canal de descarga del agua tratada, donde el 15 % del efluente tratado recircula, la bomba presuriza el agua de recirculación hasta alcanzar 2-3 atmósfera, luego ésta se satura con

aire en un tanque de mezcla, el líquido presurizado y aireado es conducido hasta la cámara central de la unidad FAD, previo a la descarga una válvula reductora de presión provoca que el líquido deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen del líquido. Esta operación se repite en forma permanente.

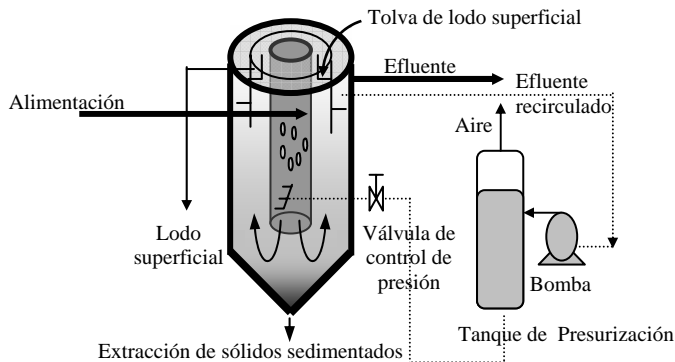


Figura 3. Unidad de flotación por aire disuelto.

Una vez que las aguas son forzadas a salir por el extremo inferior de la cámara central, la fracción de los flocúlos que no flotan son removidos por decantación, ya que el caudal pasa de un área menor a un área mayor y con lo cual pierde velocidad, favoreciendo la sedimentación de las partículas más pesadas en el fondo del tanque. El volumen de partículas almacenadas en el fondo forman los lodos, los cuales son extraídos del sistema para ser almacenados temporalmente en el depósito de lodos FAD. El agua tratada sale de la unidad FAD a través del canal de descarga hacia la siguiente unidad; el reactor biológico de lodos activados.

Reactor biológico primera etapa - lodo activado

La unidad que sigue a la FAD (ver Figura 1), constituye la primera etapa del tratamiento biológico; es un proceso donde una masa activada de microorganismos estabiliza un residuo por vía aeróbica. Esta unidad tiene como finalidad eliminar el 80 por ciento de la DBO disuelta. El reactor de lodos activados posee las siguientes características: es una estructura de concreto armado con forma de cono truncado y capacidad 2.000.000 litros de lodo biológico. Este tanque alberga en su interior 8 aireadores mecánicos, cada uno con una capacidad de transferencia de oxígeno de 1,5 kgO₂/Hp.hora, el movimiento circular de los mismos es proporcionado por motores con una potencia de 15 Hp que operan las 24 horas del día. El objetivo

de los aireadores es mantener una mezcla completa entre los microorganismos y el agua residual, además de transferir el oxígeno requerido por los microorganismos para convertir la materia orgánica coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular. Debido a que el tejido celular tiene un peso específico, ligeramente superior al del agua, es posible eliminarlo por sedimentación, logrando así su separación del efluente tratado. El sistema cuenta con un sedimentador circular de capacidad 500.000 litros, como se muestra en la Figura 4.

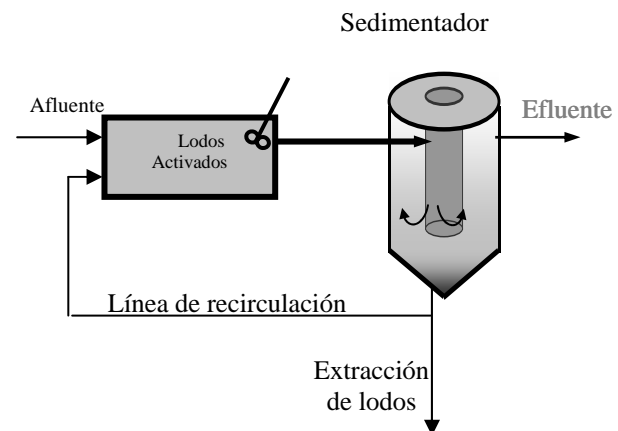


Figura 4. Tanque de lodos activados.

Tratamiento biológico segunda etapa. Biodisco

Es la unidad que sigue al reactor de lodos activados (ver Figura 1), constituye la segunda etapa del tratamiento biológico. El Biodisco está integrado por cuatro subunidades separadas por muros de concreto de 2.50 m de altura. La primera subunidad consta de dos conjuntos de ejes de rotación - placas circulares, los cuales reciben la mayor carga orgánica. Cada conjunto; eje de rotación - equipamiento de placas viene fabricado para 9.300 m² (100.000 pie²) de área superficial para la adherencia de microorganismos. El eje de rotación (flecha) es accionado por un conjunto motor-reductor, el cual reduce la velocidad de salida del motor de 1165 rpm a una velocidad de salida del reductor de 1.5 rpm, esta velocidad de giro extremadamente baja favorece los microorganismos que se encuentran adheridos a la superficie del medio plástico inerte para que tengan mayor tiempo de contacto con los contaminantes presentes en el agua residual, aumentando de esta manera la eficiencia del proceso. La Figura 5, indica en más detalle el proceso; el agua descargada del sedimentador de la primera etapa fluye hacia los discos rotativos parcialmente sumergidos en el agua residual, éstos ponen la biomasa adherida

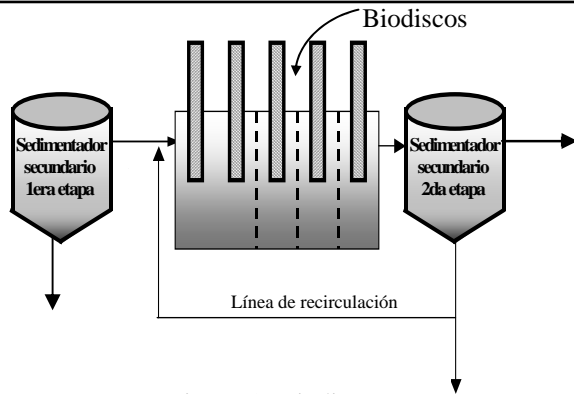


Figura 5. Biodisco

en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica disuelta presente en el agua residual y con la atmósfera para la absorción de oxígeno. La rotación del disco induce la transferencia de oxígeno y mantiene la biomasa en condiciones aerobias.

Desinfección-Tanque de Cloración

La unidad que sigue al sedimentador de la segunda etapa del reactor biológico, Figura 1. La unidad final de tratamiento del agua residual es el tanque de cloración, tiene como finalidad eliminar organismos patógenos y garantizar una concentración de cloro residual de 1-2 ppm, de modo de realizar la descarga del agua tratada cumpliendo con las normas ambientales. El tanque de cloración tiene dimensiones de 13 x 5 x 2.5 m, incluye cuatro cámaras separadas por muros de concreto que favorecen un movimiento en serpentín para aumentar el tiempo de contacto y la mezcla entre el cloro y el agua, como se muestra en la Figura 6. El tiempo de contacto es de 80 min, para un caudal máximo de 40 l/s.

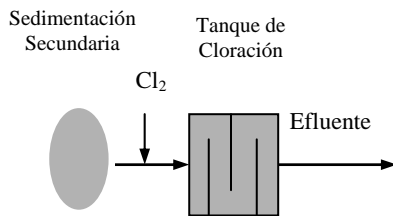


Figura 6. Tanque de cloración.

Tratamiento de lodos. Filtro prensa de bandas

Los lodos en exceso de la unidad FAD, o lodo físico-químico y los provenientes del fondo de los sedimentadores secundarios de la primera y segunda etapa del tratamiento biológico, conocidos como lodos biológicos, son deshidratados en el equipo filtro prensa. Este equipo es capaz de deshidratar lodos con

una concentración que oscila entre 0.1 – 7 % en peso para dar como resultado una pasta concentrada de 20 % en peso. El funcionamiento de la unidad filtro prensa se lleva a cabo como sigue: la tubería de succión de lodos conduce los lodos desde el depósito temporal hasta el cuerpo de la bomba, una vez que el lodo pasa a la tubería de descarga de la bomba, se pone en contacto en forma inmediata con un polímero de alto peso molecular; el lodo recorre la tubería en contacto con el polímero, hasta llegar al tanque de mezcla instalado en la línea de alimentación al filtro prensa, posteriormente se efectúa la descarga en la zona de presecado, como se muestra en la Figura 7.

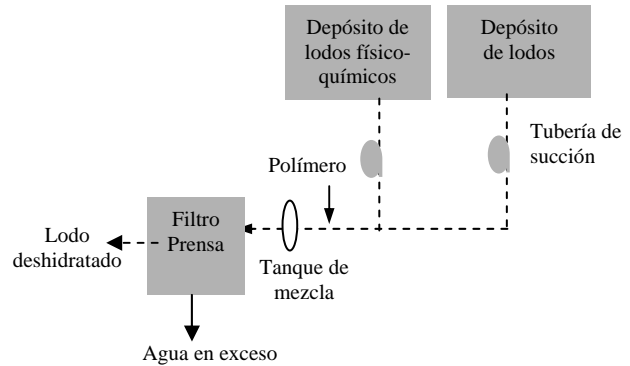


Figura 7. Tratamiento de lodos.

El filtro prensa de bandas, es un equipo de deshidratación de lodos, donde los lodos de alimentación caen en la zona de presecado y se elimina parte del agua por gravedad, el lodo es transportado sobre la banda hasta la zona de alta presión, donde son deshidratados mediante la aplicación mecánica de presión, esta presión se ejerce entre dos bandas porosas opuestas en movimiento sobre rodillos estacionarios. El destino final de lodos prensados debe ser una tolva de recepción que mediante un mecanismo de tornillo los transporta hasta un camión para su traslado hasta un vertedero. Como se muestra en la Figura 8.

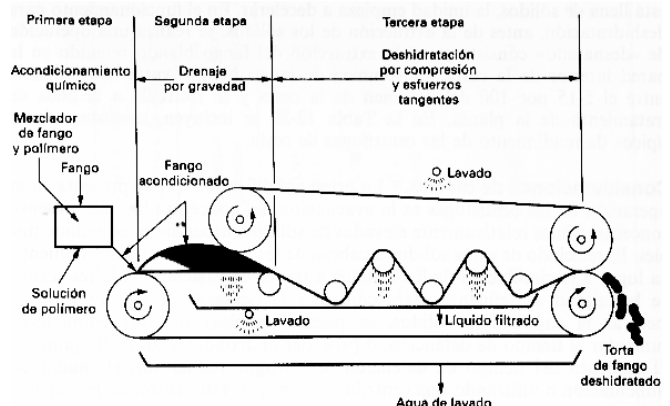


Figura 8. Filtro prensa de bandas.

$$C_s (\text{kg} / \text{día}) = \frac{S (\text{mg} / \text{L}) \cdot Q (\text{L} / \text{s}) \cdot 86400}{1.000.000}$$

3. BALANCE DE MASA

Por lo general, para realizar el análisis de cualquier proceso involucrado en un STAR es conveniente realizar un balance de masas. En cualquier balance de masa se requiere transformar las concentraciones conocidas de los constituyentes del agua residual (sustrato), bien sea DQO, DBO o SST, en carga másica diaria (kg/día), así como determinar la eficiencia del sistema.

La carga másica del sustrato (C) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_s (\text{kg} / \text{día}) = \frac{S (\text{mg} / \text{l}) \cdot Q (\text{l} / \text{s}) \cdot 86400}{1.000.000} \quad (1)$$

donde C_s representa la carga de sustrato afluente o efluente del proceso, S (mg/l) equivale a la concentración del sustrato afluente o efluente al proceso y Q (l/s) representa el caudal medio de operación.

La eficiencia del proceso se calcula como:

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

donde E representa la eficiencia del proceso en porcentaje, S_0 (mg/l) equivale a la concentración del sustrato en el afluente, S (mg/l) representa la concentración del sustrato en el efluente [1].

4. METODOLOGÍA

El procedimiento para llevar a cabo la evaluación de los procesos que ocurren en cada unidad del STAR, se basa en el seguimiento de los principales constituyentes del agua residual y la elaboración de un balance de masa en el sistema de tratamiento [2]. El monitoreo se realizó durante tres años de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales a condiciones constantes de beneficio de aves, en el laboratorio interno de la empresa, con una frecuencia de dos días por semana, con ocho horas de muestreo por día, de modo que los valores utilizados representan los promedios de operación, además de los informes trimestrales de los laboratorios registrados ante el MARN [7, 8]. Posteriormente se mostrarán los balances de masa para los parámetros de estudio, DQO, DBO y SST.

5. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados del monitoreo de las unidades que componen el STAR; los cuales se extraen de los informes de monitoreo indicados anteriormente [7-9]. Las unidades del STAR consideradas para los puntos de muestreo son; tanque de homogeneización (TH), flotación por aire disuelto (FAD), sedimentador secundario de la primera etapa biológica (SS_1) y sedimentador secundario de la segunda etapa biológica (SS_2), los puntos anteriores permitirán determinar la calidad del agua después de cada proceso. Adicionalmente se presentan los resultados de otros puntos de monitoreo, la purga de lodos del tanque de flotación por aire disuelto (PFAD) y la purga de lodos del sedimentador secundario de la primera etapa (PSS₁), estos puntos serán muestreados con la idea de completar el balance de masa de los sólidos. También se presentarán los balances de masa que justifican la remoción de la DBO, DQO y SST en el STAR.

Monitoreo de los constituyentes del sistema

Los resultados de la caracterización de los componentes del agua residual afluente a la planta de tratamiento de aguas residuales se comparan en la Figura 9, con parámetros límites de la normativa ambiental según Gaceta [6].

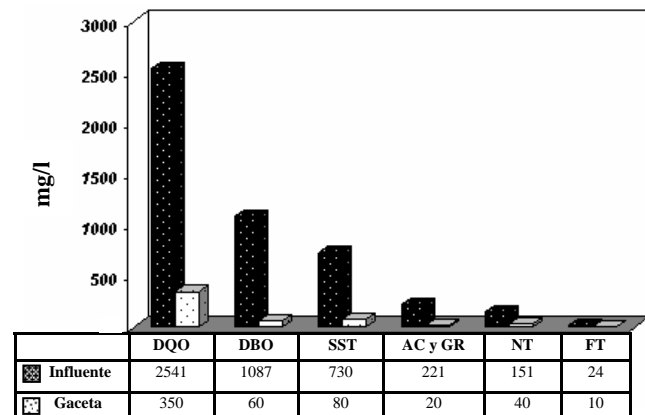


Figura 9. Caracterización del afluente al STAR.

Se puede observar que los constituyentes más significativos son la DQO, DBO y SST, los cuales serán considerados en este estudio, sin embargo, los parámetros; aceites y grasas (AC Y GR), nitrógeno total (NT) y fósforo total (FT), aunque en menor proporción no pueden ser menos importantes, ya que exceden los valores límites indicados en la Gaceta [6].

La Figura 10, muestra el monitoreo de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en cada unidad se observa una disminución progresiva de la DQO. El valor obtenido a la salida del tanque de homogeneización de 2540 mg/l se reduce a 760 mg/l a la salida del FAD; éste valor a su vez es la entrada al reactor biológico, primera etapa, en donde se reduce a 140 mg/l, éste valor será la entrada al biodisco y se reduce a 70 mg/l. En la descarga del sedimentador de la segunda etapa biológica (SS₂), es inferior a 350 mg/l (especificado por la Gaceta).

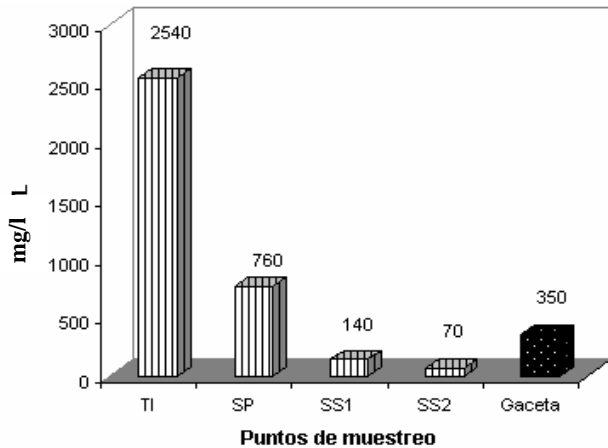


Figura 10. Demanda química de oxígeno en el STAR.

En la Figura 11, se muestra la reducción en la concentración de DBO que experimenta en forma progresiva el afluente al pasar por el STAR. La salida del tanque de homogeneización con 1150 mg/l es reducida a 380 mg/l a la salida del FAD, este valor será la entrada al reactor biológico primera etapa en donde se reducirá a 70 mg/l, este valor será la entrada al biodisco y será reducido a 20 mg/l en la descarga del sedimentador de la segunda etapa biológica (SS₂), es inferior a 60 mg/l especificado por la Gaceta.

En la Figura 12, se muestra el monitoreo de la concentración de los sólidos suspendidos totales. Se observa que la concentración más elevada de sólidos es de 18.000 mg/l y corresponde a la purga de lodo del FAD (PFAD), seguido de 3.000 mg/l en la purga de lodos del sedimentador de la primera etapa biológica (PSS₁) y 2.300 mg/l presente en el líquido mezcla del lodos activados (RB₁), finalmente se muestra la disminución progresiva de los sólidos desde el tanque de homogeneización con 730 mg/l hasta 10 mg/l en el sedimentador de la segunda etapa biológica cuyo valor es menor que el exigido por las normas para descargas a cuerpos de agua de 80 mg/l [6].

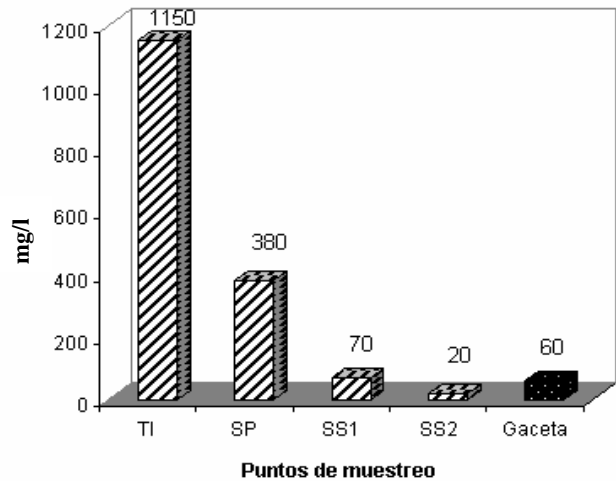


Figura 11. Demanda bioquímica de oxígeno en el STAR.

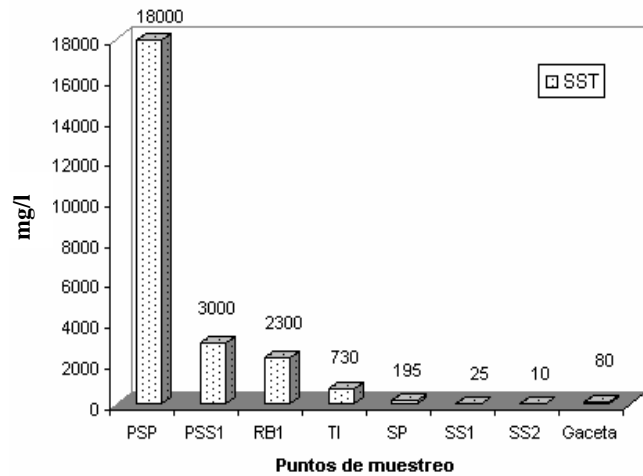


Figura 12. Sólidos suspendidos totales en el STAR.

Balance de masa y eficiencia del STAR

En las Tablas 1, 2 y 3, se presentan los balances de masa y las eficiencias para la unidad FAD del STAR, el reactor de lodos activados y el biodisco, respectivamente. El balance de masa se ha calculado utilizando la Ecuación (1) y las eficiencias, mediante la Ecuación 2. Los resultados de la Tabla 1, muestran que el caudal de entrada es de 23 l/s y que el mismo se reduce a 22.3 l/s en la salida del FAD, esta disminución se debe a la extracción permanente de 0.7 l/s de lodo por el fondo del tanque, los lodos contienen 3584 kg/día como DQO, 1553 kg/día como DBO y 1074 kg/día como SST, estos valores representan la diferencia entre la carga másica de entrada y la salida de dicha unidad. La eficiencia de esta unidad es superior al 68 % en eliminación de DQO, DBO y SST.

Los resultados de Tabla 2, muestran que la carga másica de entrada es igual a la carga de salida de la FAD, al igual que la Tabla 1, el caudal de entrada se reduce de 22.3 l/s a 20 l/s, siendo la diferencia de 2.3 l/s el caudal de purga permanente de lodos del sedimentador 1 (PSS₁), la contaminación que transportan estos lodos es de 1265 kg/día como DQO, 611 kg/día como DBO y de 333 kg/día como SST. La eficiencia de esta unidad es superior al 84 % en eliminación de DQO, DBO y SST remanentes de la FAD. Los resultados de la Tabla 3 muestran que la carga másica de entrada es igual a la carga de salida del sedimentador 1, al igual que las Tablas 1 y 2 el caudal de entrada se reduce de 20 l/s a 19.5 l/s, siendo la diferencia de 0.5 l/s el caudal de purga permanente de lodos del sedimentador 2 (PSS₂), la contaminación que transportan estos lodos es de 124 kg/día como DQO, 3 kg/día como DBO y de 26 kg/día como SST, estos valores son notablemente inferiores a la FAD y al reactor de lodos activados. La eficiencia de esta unidad es inferior al 60 % en eliminación de DQO, DBO y SST del remanente del reactor de lodos activados, debido a que la eficiencia de remoción del reactor biológico es aproximadamente el 90 % del remanente de la FAD, en consecuencia el desarrollo microbiano de esta unidad es bajo debido al poco sustrato en la alimentación y esto hace que merme la eficiencia de la unidad, e implica que este es un reactor biológico en reserva.

Tabla 1. Balance de masa para la unidad FAD.

Punto de muestreo	Descripción	Unidad	Valor de operación
FAD	Entrada de agua cruda :		
	Caudal	l/s	22.3
	Carga DQO	kg/día	1464
	Carga DBO	kg/día	732
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	376
SS ₁	Salida de agua tratada:		
	Caudal	l/s	20
	Carga DQO	kg/día	242
	Carga DBO	kg/día	121
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	43
PSS ₁	Purga de lodos:		
	Caudal	l/s	2.3
	Carga DQO	kg/día	1265
	Carga DBO	kg/día	611
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	333
Eficiencia	Carga DQO	%	86
	Carga DBO	%	85
	Carga de sólidos suspendidos	%	89

Tabla 2. Balance de masa en el reactor de lodos activados.

Punto de muestreo	Descripción	Unidad	Valor de operación
TH	Entrada de agua cruda :		
	Caudal	l/s	23
	Carga DQO	kg/día	5048
	Carga DBO	kg/día	2285
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	1450
FAD	Salida de agua tratada:		
	Caudal	l/s	22.3
	Carga DQO	kg/día	1464
	Carga DBO	kg/día	732
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	376
PFAD	Purga de lodos:		
	Caudal	l/s	0.7
	Carga DQO	kg/día	3584
	Carga DBO	kg/día	1553
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	1074
Eficiencia	Carga DQO	%	71
	Carga DBO	%	68
	Carga de sólidos suspendidos	%	74

Tabla 3. Balance de masa del biodisco.

Punto de muestreo	Descripción	Unidad	Valor de operación
SS ₁	Entrada de agua cruda :		
	Caudal	l/s	20
	Carga DQO	kg/día	242
	Carga DBO	kg/día	121
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	43
SS ₂	Salida de agua tratada:		
	Caudal	l/s	19.5
	Carga DQO	kg/día	118
	Carga DBO	kg/día	34
	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	17
PSS ₂	Purga de lodos:		
	Caudal	l/s	0.5
	Carga DQO	kg/día	124
	Carga DBO	kg/día	3
Eficiencia	Carga de sólidos suspendidos	kg/día	26
	Carga DQO	%	52
	Carga DBO	%	2.4
	Carga de sólidos suspendidos	%	60

La Tabla 4, muestra el funcionamiento de la unidad para tratamiento físico de lodos o filtro prensa. Los resultados en la Tabla 4, indican que la operación física del prensado incrementa la concentración de lodos en peso del 3 % en la entrada a 20 % en la salida para lodos de la FAD y del 1 % al 15 % en peso de los lodos biológicos, este es un valor próximo al

Tabla 4. Operación del filtro prensa de bandas.

Punto de muestreo	Parámetro	Unidad	Valor de operación
Entrada al Filtro prensa	Caudal de prensado de lodos FAD	l/s	0.6
	Caudal de prensado de lodos biológicos	l/s	3
	Concentración como porcentaje en peso de sólidos en los lodos prensados del FAD	%	3
	Concentración como porcentaje en peso de sólidos en la torta de lodos biológicos	%	1
Salida del Filtro prensa	Concentración como porcentaje en peso de sólidos en los lodos prensados del FAD	%	20
	Humedad de los lodos prensados del FAD	%	80
	Concentración como porcentaje en peso de sólidos en la torta de lodos biológicos	%	15
	Humedad de los lodos biológico prensados	%	85
Volumen de lodos para el vertedero	Volumen en la torta de lodos primario prensados	kg/día	1074
	Volumen en la torta de lodos Biológicos prensados	kg/día	360
Volumen total prensado		kg/día	1434

Tabla 5. Comparación de los valores de los constituyentes en la entrada Vs. la salida del STAR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO	mg/l	2541	20	99
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	1087	70	94
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	730	10	99
Aceites y grasas	Ac y Gr	mg/l	221	5	98
Nitrógeno	N	mg/l	151	5	97
Fósforo	P	mg/l	24	5	80

Tabla 6. Parámetros de salida del STAR versus Gaceta.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Salida	Gaceta
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	20	60
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	70	350
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	10	80
Aceites y grasas	Ac y Gr	mg/l	5	20
Nitrógeno	N	mg/l	5	40
Fósforo	P	mg/l	5	10

límite de diseño para estos equipos del (28 - 44) % para lodos de FAD y de (12 - 20) % para lodo biológico según [1], lo que indica una excelente operación para el prensado de ambos lodos.

En la Tabla 5, se comparan los valores de la entrada y la salida del STAR. En la Tabla 6, se comparan los valores de la salida con los valores de los límites

exigidos por la normativa ambiental según Gaceta [6]. En las Tablas 5 y 6, se observa que el porcentaje de eliminación de la carga contaminante del afluente al STAR es alto con respecto al efluente de la misma, superior al 95 %, así como el cumplimiento de todos los parámetros significativos constituyentes del agua residual de una industria avícola con la normativa ambiental según Gaceta.

6. CONCLUSIONES

La eficiencia de operación de la unidad de Flotación por Aire Disuelto (FAD), es superior al 70 % en la eliminación de DQO, DBO y SST. Una fracción de los sólidos eliminados corresponde a las grasas que por sus propiedades de flotación se eliminan con mayor rapidez. Los sólidos eliminados en la FAD forman lodos que luego se depositan en tanques para su posterior prensado, la carga de sólidos eliminados es de 1074 kg/día.

La eficiencia de operación en el primer reactor de lodos biológicos, es superior al 85 % en la eliminación de DQO, DBO y SST remanentes de la unidad FAD, la carga de sólidos eliminada es de 333 kg/día. La eficiencia de operación en el biodisco, es superior al 50 % en la eliminación de DQO y SST remanentes del primer reactor biológico y del 3 % en eliminación de DBO.

Se puede concluir que la carga de contaminantes que se elimina por las unidades del STAR genera un residuo de lodo del proceso físico de 1074 kg/día y lodo biológico de 360 kg/día, para un total de 1434 kg/día, por lo que la prioridad del prensado en la operación ha de ser los lodos de la unidad FAD. Hay una eficiencia de eliminación de los constituyentes en la entrada al STAR con respecto a los valores de la salida por encima del 95 %. Todos los valores son inferiores a los límites de la normativa ambiental especificada según Gaceta.

REFERENCIAS

- [1] Metcalf & Eddy. (1996). "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización". Tomo 2. pp 1010. McGraw -Hill / Interamericana Editores .Tercera edición. México.
- [2] Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS. (2000 – 2002) "Proyecto Regional. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial".
- [3] Mercado, Leida (1998). "Diagnóstico Ambiental de Venezuela." Inter-American Development Bank. Washington, D.C.
- [4] Piquer, E., (2004). "Gestión ambiental de la actividad industrial". XII Cumbre Ecológica Industrial. Cámara de Industriales del Estado Carabobo. Venezuela.
- [5] Nerea, E. (2004). "Desechos de la carne y subproductos". Ciencia y tecnología de los alimentos. España. 1-18
- [6] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021. Decreto N° 883 (1995). "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos". Sección III, pp. 7-8.
- [7] Diseños Ambientales.(2000) "Caracterización de efluentes del STAR de la industria avícola XX". Informes Trimestrales.
- [8] HidroLab-Toro.(2002) "Caracterización de efluentes del STAR de la industria avícola XX". Informes Trimestrales.
- [9] Laboratorio Interno Industria Avícola.(2002) "Caracterización de efluentes del STAR de la industria avícola XX". Informes Semanales.