

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA AVÍCOLA

Wastewater Treatment System Evaluation of a Poultry Industry

Yaxcelys Caldera ^{1*}, Edixon Gutiérrez ², Mirvia Luengo ², Javier Chávez ² y Leopoldo Ruesga ²

¹Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, Venezuela. *yaxcelysc@hotmail.com. ²Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

RESUMEN

Las aguas residuales de las industrias avícolas contienen altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo. Su composición y flujo generalmente varían dependiendo del proceso industrial, tamaño de las instalaciones, número de animales sacrificados, eficiencia de recolección de sangre y subproductos, consumo de agua por ave sacrificada y manejo del agua en el proceso industrial. En este sentido, la disposición sin tratamiento de estos efluentes a los cuerpos receptores causa un impacto ambiental negativo. En esta investigación se evaluó la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola zuliana (ARIAZ). Se determinaron los parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), aceites y grasas (A y G), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo (P), temperatura (T) y pH, a la entrada y salida del sistema de tratamiento y en cada una de las unidades que lo integran. El sistema de tratamiento de ARIAZ está integrado por: tamiz rotatorio, tanque de separación de A y G, sistema de lodos activados (reactor biológico y sedimentador secundario) y cámara de cloración, además del tratamiento de lodos. Los resultados demostraron que la planta de tratamiento removió eficientemente la DQO, DBO, A y G, NTK, SST y SSV en 89,67; 98,53; 92,55; 97,78; 94,92 y 96,23%, respectivamente. Las concentraciones de fósforo no mostraron variaciones durante el tratamiento.

Palabras clave: Industria avícola, aguas residuales, sistema de tratamiento, eficiencia.

ABSTRACT

Poultry industries wastewater contains high concentrations of organic matter, suspended solids, fat, nitrogen and phosphorus. Its composition and flow generally varies depending on the manufacturing process, plant size, number of slaughtered animals, efficiency the collection of blood and sub-products, water consumption per slaughtered bird and water management in the industrial process. In this regard, the disposal of untreated effluent to the receiving water causes a negative environmental impact. In this study the efficiency of a wastewater treatment system of a zuliana poultry industry (ZPI) was evaluated. The parameters chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), volatile suspended solids (VSS), oils and grease (O&G), total Kjeldahl nitrogen (TKN), phosphorus (P), temperature (T) and pH, in the affluent and effluent of the treatment system and in each of the units were determined. The treatment system of the ZPI is set up of rotary screen, O&G separation tank, activated sludge system (biological reactor and secondary sediment) reactor, secondary sediment, chlorination chamber, in addition the sludge treatment. The results demonstrated that the COD, BOD, O&G, TKN, TSS and VSS were efficiently removed in 89.67, 98.53, 92.55, 97.78, 94.92 and 96.23%, respectively. The P concentrations no shown variations during treatment.

Key words: Poultry industry, wastewater, treatment system, efficiency.

INTRODUCCIÓN

La industria avícola cuenta con una cadena productiva constituida por varias fases o eslabones como alimento, engorde y beneficio; cada una con procesos que responden a necesidades particulares. La fase de beneficio consta de varias etapas como la recepción de aves, matanza y desplume, línea de evisceración, escurrido y empaque [19].

Durante el proceso de matanza de aves, el agua es usada principalmente para el escaldado, lavado antes y después del eviscerado, enfriamiento (chiller), limpieza y saneamiento de equipos e instalaciones y para el enfriamiento de equipos mecánicos, también se usa para remover las plumas y las vísceras desde las áreas de producción. Se ha reportado que el consumo específico de agua puede estar entre 8 y 15 L/ave sacrificada [18].

En este sentido, los mataderos de aves producen gran cantidad de aguas residuales, caracterizadas por presentar altas concentraciones de materia orgánica biodegradable, materia coloidal y suspendida, tales como grasas, proteínas y celulosa [13]. La calidad de estas aguas varía dependiendo del proceso industrial, del consumo de agua por aves sacrificadas [1, 10], del tamaño de las instalaciones de la procesadora, de la eficiencia de recolección de sangre y del manejo del agua en el proceso industrial [1, 21]. En general, la composición y el flujo de estas aguas residuales dependen del número de animales sacrificados.

Las aguas residuales de mataderos (ARM) son altamente contaminantes debido a su elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por lo que provocan un alto impacto ambiental en cuerpos receptores. Los principales efectos perjudiciales de los vertidos de las fábricas de productos cárnicos son: la disminución del oxígeno, los depósitos de fangos, colores y una situación general desagradable [22]. Si estas aguas residuales no son tratadas contribuyen a la degradación de los medios acuáticos [8].

Según la Agencia de Protección Ambiental [1], los tratamientos de las aguas residuales de las industrias avícolas se clasifican en tres categorías: primarios, para remover sólidos sedimentables y suspendidos; secundarios, para remover materia orgánica, y terciarios, para remover nitrógeno y fósforo o sólidos suspendidos.

Ante este escenario, los efluentes de las industrias avícolas deben ser llevados a una planta de tratamiento antes de su descarga a los cuerpos receptores o a las redes de alcanta-

rillado. La eficiencia de los sistemas de tratamiento empleando diferentes opciones como lodos activados, reactores anaerobios, productos químicos, pretratamiento en sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) y tamices, entre otros, han sido evaluados por varios investigadores, demostrando que remueven más del 80% de la demanda química de oxígeno (DQO) presente en estas aguas [11, 16, 18, 25].

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Industria Avícola considerada en esta investigación se encuentra ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Para efectos de esta investigación, la misma se denominará industria avícola zuliana (IAZ). Esta industria beneficia un promedio de 40.000 aves (pollos) diariamente y abastece parte del consumo regional y de otros Estados.

El sistema de tratamiento de la IAZ se diseñó con el objetivo de descargar un efluente final cuyos parámetros fisicoquímicos cumplieran con los valores o rangos establecidos en las normas venezolanas para descarga a red de cloacas [24], el caudal de diseño fue de 12 L/s para un número de aves sacrificadas de 5.000 pollos/h, jornada de trabajo de 12 h por día (8 de matanza y 4 de limpieza) y carga orgánica en términos de DBO de 726 kg/d. Por otra parte, las aguas residuales producto de las actividades del personal que labora en empresa no se mezclan con las aguas residuales de la industria avícola zuliana (ARIAZ), estas son descargadas directamente a la red de cloacas.

El sistema de tratamiento de ARIAZ (FIG. 1) está integrado por: tamiz rotatorio, tanque de separación de aceites y grasas (A y G), sistema de lodos activados, reactor biológico y sedimentador secundario y cámara de cloración. Mientras que las unidades para el manejo de lodo son: digestor aerobio, es-

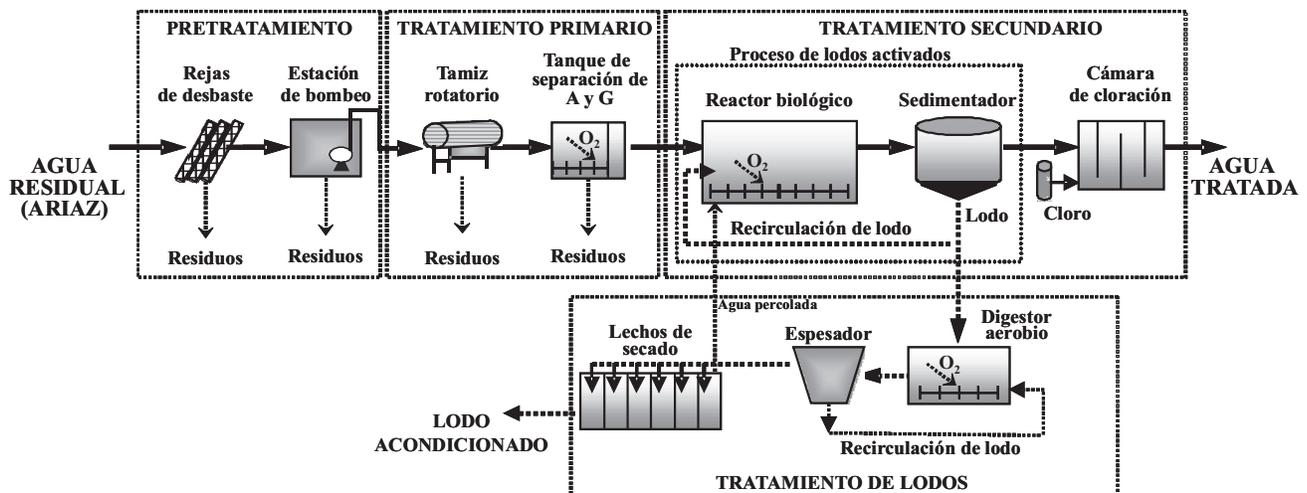


FIGURA 1. UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA ZULIANA (IAZ)/ UNITS OF WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF THE ZULIA POULTRY INDUSTRY (ZPI).

TABLA I
PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS UNIDADES QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA ZULIANA/ DESIGN PARAMETERS OF THE UNITS THAT INTEGRATE THE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF THE ZULIA POULTRY INDUSTRY

Unidades	Volumen (m ³)	Tiempo de retención hidráulico (horas)	Tiempo de retención celular (días)	Número de aireadores
Tanque de separación de A y G	105	2	NA	18
Reactor biológico	2.394	96	66,7	320
Sedimentador	86,4	2	NA	NA
Cámara de cloración	21	½	NA	NA

NA: No aplica. A y G: Aceites y grasas.

pesador y lechos de secado. Además, antes de entrar al sistema de tratamiento, se separan las plumas, sangre y vísceras de las ARIAZ. Los principales parámetros de diseño de las unidades que integran el sistema de tratamiento de las ARIAZ se muestran en la TABLA I. A continuación se describe la nomenclatura utilizada en esta investigación para las unidades: la entrada a la planta de tratamiento (EPT) de la IAZ es la entrada al tamiz rotatorio (TR), la salida del TR representa la entrada al separador de A y G (SAyG) que a su vez es la entrada al reactor biológico (RB). Después de RB se encuentra el sedimentador (S), ambos conforman el sistema de lodos activados (LA), mientras que la salida del S es la entrada a la cámara de cloración (CC). La salida de la CC es la salida de la planta de tratamiento de ARIAZ.

Las muestras de agua residual se recolectaron manualmente a la entrada y salida de las unidades que integran el sistema de tratamiento de ARIAZ. Se tomaron un total de 10 muestras compuestas, con muestras simples (200 mL) en intervalos de dos horas para jornada ocho horas de matanza, durante cuatro meses de evaluación. Para determinar los parámetros DQO, DBO, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), P, potencial de hidrógeno (pH) y alcalinidad se recolectaron muestras en envases plásticos de 1 L, mientras que para el parámetro A y G se emplearon envases de vidrio de 500 mL. Las muestras fueron refrigeradas y trasladadas al laboratorio para su análisis. Los parámetros fisicoquímicos de las ARIAZ se determinaron empleando la metodología descrita en los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales de la APHA-AWWA-WEF [3].

La determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó por triplicado, los resultados se sometieron a un análisis estadístico descriptivo calculando la media y desviación estándar. También se realizó una correlación a nivel significativo 0,01 para los parámetros empleando el programa SSPS (statistical package for the social sciences) para windows 10,0 [27].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la TABLA II, se presentan las características de las ARIAZ y los valores establecidos según la normativa ambiental

vigente en Venezuela [24]. Se observa que los parámetros DBO, A y G, SST presentan valores superiores a los establecidos como rango o límite permisible para descarga de efluentes a redes de cloacas y a cuerpos de agua, ríos, estuarios, lagos y embalses, artículo 10 y artículo 15, respectivamente. Los parámetros pH y P cumplen con esta normativa, mientras que los valores de temperatura reportados son menores a los establecidos para descarga a red de cloacas (40°C). Es evidente que las ARIAZ deben someterse a un tratamiento antes de descargarlas para disminuir los valores de dichos parámetros y evitar impactos ambientales negativos.

Las ARIAZ se caracterizan por presentar altas concentraciones de materia orgánica biodegradable (DBO: 1.136,20 mg/L), materia coloidal y suspendida (SSV: 484,38 mg/L) y grasas (A y G: 413,47 mg/L). También contienen altas concentraciones de nitrógeno y fósforo (NTK: 109,94 mg/L y P: 9,60 mg/L). Por otra parte, presenta alto porcentaje de los sólidos suspendidos volátiles (SSV/SST: 0,89). En cuanto a condiciones para que se lleven a cabo las funciones biológicas, presentan valores de pH en el rango adecuado (4 - 9) y nutrientes (N y P) para que los microorganismos cumplan su función de descomponer la materia orgánica. Estas características son similares a las presentadas por otros investigadores quienes indican que las ARM tienen carga considerable de contaminantes, cantidad sustancial de SST, A y G, DBO y DQO, color oscuro y olor desagradable, donde la alta carga orgánica se debe a la sangre y material orgánico, los cuales son responsables también del color y la turbidez [11, 16, 26].

En la FIG. 2 se presenta el comportamiento de los parámetros DQO, DBO, NTK, P, A y G y sólidos suspendidos (SS), en las unidades que integran el sistema de tratamiento de ARIAZ: tamiz rotatorio, tanque de separación de A y G, sistema de lodos activados, reactor biológico y sedimentador secundario y cámara de cloración durante cuatro meses de evaluación.

En la FIG. 2a se observa una disminución progresiva en los valores de concentración de la DQO a medida que las ARIAZ avanzan en el sistema de tratamiento. El sistema de lodos activados logró remover el 76,24% de la DQO, resultados menores a los reportados por Al-Mutairi y col. [2], quienes trabajaron en una planta de tratamiento de ARM y encontraron

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA AVÍCOLA ZULIANA (IAZ)/
WASTEWATER CHARACTERISTICS OF THE ZULIA POULTRY INDUSTRY (ZPI)

Parámetro	Máximo	Mínimo	Valor promedio ± Desviación	Descarga red de cloacas*	Descarga Cuerpos de agua*
DQO soluble (mg/L)	1.815,70	1.255,00	1.584,23 ± 197,48	NR	NR
DBO (mg/L)	1.357,74	993,45	1.136,20 ± 121,30	350	60
SST (mg/L)	653,33	443,67	544,67 ± 73,87	400	80
SSV(mg/L)	604,67	382,33	484,38 ± 75,15	NR	NR
A y G (mg/L)	502,30	267,9	413,47 ± 99,43	150	20
NTK (mg/L)	123,20	102,71	109,94 ± 7,53	NR	NR
P total (mg/L)	17,22	6,48	9,60 ± 3,52	10	10
pH	6,48	6,30	6,38 ± 0,06	6 - 9	6 - 9
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	256,33	182,00	213,81 ± 24,66	NR	NR
Temperature (°C)	32	28	30 ± 2	NR	40
Q promedio (L/s)	—	—	11,76 ± 2,33		

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno. DQO: Demanda química de oxígeno. SST: Sólidos suspendidos totales. SSV: Sólidos suspendidos volátiles. A y G: Aceites y grasas. NTK: Nitrógeno total Kjeldahl. P: Fósforo. Q: Caudal. *Gaceta Oficial [24]. Número de muestras compuestas diez (10).

que en el proceso de lodos activados se redujo la DQO soluble en un 79%. A la salida de la cámara de cloración se obtuvo una concentración de DQO de 148,71 mg/L. Estos resultados demuestran la eficiencia del sistema de tratamiento estudiado para remover un 89,67% de la DQO presente en las ARIAZ.

La DBO presentó una tendencia similar al comportamiento de la DQO. En la FIG. 2b se observa una disminución de los valores de concentración de la DBO. En el tamiz y el separador de A y G se removieron concentraciones de DBO de 5,31 y 36,57%, respectivamente. La remoción obtenida en las unidades primarias es satisfactoria puesto que se ha reportado que en éstas se elimina entre 10 y 30% de la DBO [15]. Se estimó como condición de diseño un 25% de remoción de DBO en dichas unidades, valor menor al encontrado en esta investigación.

La concentración de DBO a la entrada del RB fue de 747,43 mg/L menor al valor establecido para las condiciones de diseño (1.000 mg/L), logrando el sistema de lodos activados remover el 96,96% de la DBO. Mientras que a la salida de la cámara de cloración se obtuvo una concentración de DBO de 18,29 mg/L, representando una eficiencia del 98,53% en la planta de tratamiento. El valor encontrado a la salida de la planta de tratamiento es menor al reportado en las normas venezolanas para descarga a cuerpos de agua y a red de cloacas, 60 y 350 mg/L, respectivamente. Estos resultados indican que el sistema de tratamiento de ARIAZ es altamente eficiente para remover la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales.

La efectividad del proceso de lodos activados se debe a la biodegradabilidad de las ARIAZ, con relaciones de DQO/DBO entre 1,5 y 2,0 que demuestra su fácil degradación por los microorganismos presentes en el reactor de lodos activados. Este rango ha sido reportado por otros investigadores para las ARM [7, 15].

El NTK presente en las ARIAZ fue asimilado por los microorganismos en el reactor biológico. Se observó disminución a la salida del sistema de LA (FIG. 2c), donde se obtuvo una concentración de NTK de 1,65 mg/L representando un 98,09% de remoción. En esta investigación no se evidenció transformación a nitritos y nitratos, aún cuando algunas condiciones en el reactor biológico fueron apropiadas para la nitrificación [9], concentraciones de oxígeno disuelto (OD) entre 4,0 y 6,7 mg/L, las cuales favorecen la oxidación del nitrógeno y la transformación del amonio, y largos tiempos de retención de lodos (66,7 días). Sin embargo, el crecimiento de las bacterias nitrificantes es más lento que el de los microorganismos responsables de la reducción de DBO por esta razón la cantidad de nitrificación dentro de los reactores aerobios dependerá del tipo de sustrato empleado y de las condiciones de operación [1].

En cuanto al sustrato, algunos investigadores han reportado nitrificación en reactores biológicos durante el tratamiento de las ARM. Núñez y Martínez [23] indicaron que el proceso de lodos activados puede emplearse como postratamiento de las aguas residuales desde mataderos por su eficiencia para remover DQO residual y nitrificar el amonio, obteniendo remociones de 50 y 75%, respectivamente. Sin embargo, sugieren una etapa de desnitrificación para remover los nitritos y nitratos.

En cuanto al cumplimiento de la normativa ambiental venezolana para descarga de aguas con NTK a cuerpos de agua y a red de cloacas, en la misma no se especifican concentraciones para este parámetro. En contraste, se establecen las concentraciones de 40 y 10 mg/L para N total y nitritos más nitratos, respectivamente; por esta razón podría asumirse que el NTK no debería exceder los 30 mg/L, para descarga a cuerpos de agua. En este sentido, se observó que el sistema de tratamiento de ARIAZ logró la remoción eficiente del 97,78% de

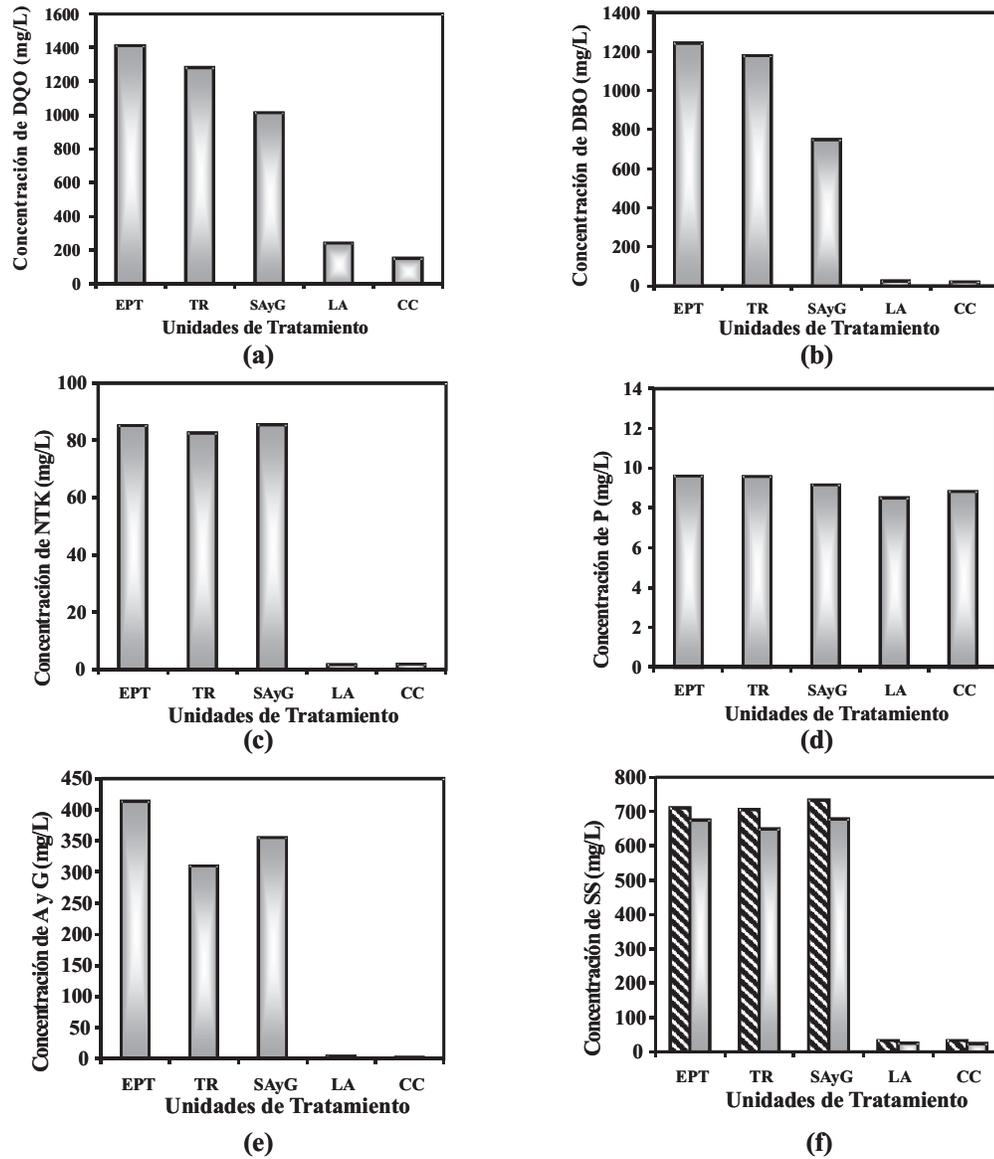


FIGURA 2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LAS UNIDADES QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA ZULIANA. (a) DQO (b) DBO (c) NTK (d) P (e) A Y G (f) SST Y SSV/ PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN WASTEWATER TREATMENT SYSTEM UNITS OF THE ZULIA POULTRY INDUSTRY. (A) COD (B) BOD (C) TKN (D) P (E) O&G (F) TSS AND VSS./ DBO: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO. DQO: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. SST: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES. SSV: SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES. A Y G: ACEITES Y GRASAS. NTK: NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL. P: FÓSFORO.

NTK, obteniéndose concentraciones de 1,88 mg/L a la salida de la planta de tratamiento.

Las concentraciones de fósforo no mostraron variaciones importantes durante el proceso de tratamiento de las ARIAZ (FIG. 2d). Los valores promedio de P a la salida del sistema de tratamiento (8,83 mg/L) son menores a los establecidos en la normativa ambiental venezolana para descarga a cuerpos de agua y a red de cloacas (10 mg/L), sin embargo, en algunos casos durante la evaluación superaron este valor.

Los resultados indican que el sistema de tratamiento no es eficiente para remover P de las ARIAZ, requiriéndose de un tratamiento terciario para lograr disminuir este parámetro y evitar problemas en los cuerpos receptores, destino final de estas aguas. Las remociones entre 10 y 30% obtenidas en esta investigación se deben a que los microorganismos que utilizan el fósforo para la síntesis celular y el transporte de energía, tomaron el necesario reteniéndolo en las células. La precipitación química representa una opción para remover fósforo de

las aguas residuales y garantizar los niveles en el efluente a descargar.

Al igual que en este estudio, Del Nery y col. [11] no encontraron remociones de fósforo en el sistema de tratamiento biológico (reactor UASB). Mientras que Cassidy y Belia [6] indicaron que se requiere de condiciones anaerobias y aerobias para remover el fósforo biológicamente. Por su parte Li y col. [14] encontraron remociones de fósforo biológico en un reactor por carga secuencial (SBR), por lo que no requirieron de tratamiento terciario.

Las concentraciones de A y G no mostraron variaciones importantes durante tratamiento de las ARIAZ en las primeras unidades: tamiz y separador de A y G (FIG. 2e). El mayor porcentaje de remoción se obtuvo en el sistema de lodos activados, donde se eliminó el 98,86%, éstas por su naturaleza biodegradable sirvieron de alimento a los microorganismos aerobios, sufriendo reacciones por hidrólisis a ácidos grasos y alcoholes correspondientes. También pudieron quedar atrapados en los lodos, pasando con el mismo al sedimentador donde fueron retirados. Se observa la nula eficiencia del separador de A y G para remover las concentraciones de este parámetro, producto de los problemas de mantenimiento observados en la planta de tratamiento. Martínez y col. [17] reportaron resultados similares a los encontrados en esta investigación, donde los sistemas de tratamiento primario (tamizado y flotación) mostraron baja eficiencia de remoción de SS y grasas durante el tratamiento de ARM.

Por otra parte, se obtuvo una concentración de 2,4 mg/L a la salida de la planta de tratamiento representando más de un 90% de remoción de A y G, cumpliendo con la normativa para descarga a cuerpos de agua (20 mg/L) y a red de cloacas (150 mg/L).

En la FIG. 2f se muestra el comportamiento de las concentraciones de SST y SSV. Los sólidos presentes en las ARIAZ son principalmente orgánicos con una relación SSV/SST superiores al 80%. Estos sólidos fueron removidos eficientemente en más de 90%, obteniéndose a la salida del sistema de tratamiento concentraciones de 32,80 mg/L y 23,07 mg/L para SST y SSV, respectivamente, cumpliendo con lo establecido en la normativa ambiental (80 mg/L).

Se obtuvieron concentraciones de 2.455,73 mg/L para SSV en el licor mezcla (SSVLM), valores dentro del rango reportado en la bibliografía para los sistemas lodos activados (2.000 mg/L a 6.000 mg/L) donde los SSV representan entre 40 y 85% de los SST [9, 12].

Por otra parte, los valores de pH se mantuvieron en el rango de 6,0 a 7,0; valores considerados apropiados (entre 4,0 - 9,5) para el crecimiento de microorganismo aerobios [12]. A la salida de la planta de tratamiento el valor de pH fue 6,32; valor dentro del rango establecido en la normativa ambiental (6 - 9) para descarga de efluentes. Las aguas residuales de las industrias avícolas tienden a pH neutros y ligeramente ácidos, al res-

pecto Rusten y col. [25] encontraron valores de pH muy estables, entre 6,7 y 7,0, durante el tratamiento de ARM en sistemas biológicos, similares a los reportados en esta investigación. Mientras que Mijinyawa y Lawal [20] indicaron que las ARM pueden ser descargadas sin causar impactos ambientales asociados a valores de pH, encontraron valores entre 6,7 y 7,2.

En la TABLA III, se muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos a la salida de la planta de tratamiento de ARIAZ y la eficiencia para remover dichos parámetros; se comparan con la normativa para descarga a red de cloacas. Se observan remociones de los parámetros DQO, DBO, A y G, NTK, SST, SSV y P de 89,67; 98,53; 92,55; 97,78, 94,92, 96,23 y 8,02%, respectivamente. Los resultados obtenidos permiten aseverar que la planta de tratamiento de ARIAZ removió eficientemente los parámetros DQO, DBO, A y G, SST, SSV y NTK alcanzando valores superiores al 89,00%. En tal sentido, las concentraciones de estos contaminantes disminuyeron a valores menores a los establecidos en la normativa ambiental vigente, indicando los resultados que la IAZ está cumpliendo con dicha normativa en cuanto a descargas a cloacas, para los parámetros evaluados. Por otra parte, el fósforo presente en las ARIAZ no fue eficientemente removido del sistema, sin embargo las concentraciones promedio estuvieron por debajo de las establecidas en la normativa.

De todas las unidades evaluadas la más eficiente fue el sistema lodos activados, donde se removió casi la totalidad de las concentraciones de dichos parámetros, esto relacionado a

TABLA III
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA AVÍCOLA ZULIANA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO /PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF THE WASTEWATER OF ZULIA POULTRY INDUSTRY AFTER TREATMENT

Parámetro	Valores a la salida de la PT (mg/L)	Descarga red de cloacas (mg/L)*	Eficiencia de remoción PT (%)
DQO soluble	148,71	NR	89,67
DBO	18,29	350	98,53
SST	32,80	400	94,92
SSV	23,07	NR	96,23
A y G	2,40	150	92,55
NTK	1,88	NR	97,78
P total	8,83	10	8,02
pH ¹	6,32	6 – 9	—
Alcalinidad ²	59,80	NR	—

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno. DQO: Demanda química de oxígeno. SST: Sólidos suspendidos totales. SSV: Sólidos suspendidos volátiles. A y G: Aceites y grasas. NTK: Nitrógeno total Kjeldahl. P: Fósforo. NR: No Reportado. PT: Planta de tratamiento. *Gaceta Oficial [24]. ¹Sin unidades. ²Valores en mg CaCO₃/L. Número de muestras compuestas diez (10).

la biodegradabilidad de las ARIAZ. Por consiguiente, la eficiencia en la remoción de los parámetros de las ARIAZ se debe a la alta biodegradabilidad, la recolección de la sangre y sólidos y la buena selección de las unidades que integran esta planta de tratamiento.

En este sentido, Bohdziewicz y Sroka [4] recomendaron el proceso biológico lodos activados para el tratamiento de ARM. Obtuvieron remociones de DQO, DBO₅, N total superiores al 96%. Refieren la dificultad de tratamiento de las ARM debido a las características específicas, variabilidad, contenido de materia orgánica y de nutrientes. Sin embargo, Bohdziewicz y col. [5] recomiendan el proceso de lodos activados combinado con el método simultáneo de precipitación química de fósforo para lograr la remoción de los contaminantes.

Finalmente, evaluando el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos durante el tratamiento de las ARIAZ, se observó una correlación positiva a nivel 0,01 entre la DQO, DBO y los A y G, esto indica que el aumento de la DQO incidió en el resto de los parámetros (DBO y A y G). Estos elementos presentaron una tendencia a disminuir ($r = -0,96$) a medida que recibieron tratamiento en cada una de las unidades del sistema, mientras que las concentraciones de cada uno presentaron diferencia significativa ($P < 0,01$).

En este orden de ideas, los SST y SSV presentaron el mismo comportamiento en todas las unidades con una correlación positiva ($r = 0,998$), como se discutió anteriormente los SSV representan un porcentaje importante de los SST. Asimismo, se observaron valores de pH casi constantes en todas las unidades, sin relación directa con otros parámetros, por esta razón no se obtuvo diferencia significativa del pH ($P < 0,01$) durante el tratamiento de las ARIAZ.

CONCLUSIONES

La planta de tratamiento fue eficiente para remover los parámetros DQO, DBO, A y G, NTK, SST y SSV en 89,67; 98,53; 92,55; 97,78; 94,92 y 96,23%, respectivamente.

El fósforo presente en las ARIAZ no fue eficientemente removido del sistema, sin embargo las concentraciones promedio estuvieron por debajo de las establecidas en la normativa.

El sistema lodos activados fue la unidad más eficiente del sistema de tratamiento de ARIAZ puesto que removió casi la totalidad de las concentraciones de DQO, DBO, A y G, SST, SSV y NTK.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de LUZ (CONDES) por el financiamiento a este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGENCY PROTECTION ENVIRONMENTAL (EPA). Development document for the proposed effluent limitations guidelines and standards for the meat and poultry products industry point source category. (40 CFR: 432). EPA-821-B-01-007. Washington DC USA. 666 pp. 2002.
- [2] AL-MUTAIRI, N.; AL-SHARIFI, F.; AL-SHAMMARI, S. Evaluation study of a slaughterhouse wastewater treatment plant including contact-assisted activated sludge and DAF. **Desalinat.** 225:167-175. 2008.
- [3] APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 18th Ed. Washington. DC, USA. 1207 pp. 1998.
- [4] BOHDZIEWICZ, J.; SROKA, E. Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater the meat industry. **Process Biochem.** 40:1517-1523. (2005).
- [5] BOHDZIEWICZ, J.; SROKA, E.; LOBOS, E. Application of system which combines coagulation, activated sludge and reverse osmosis to the treatment of wastewater produced by the meat industry. **Desalinat.**, 144:393-398. 2002.
- [6] CASSIDY, D.; BELIA, E. Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge. **Water Res.** 39:4817-4823. 2005.
- [7] CHÁVEZ, C.; CASTILLO, L.; DENDOOVEN, L.; ESCAMILLA, E. Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Bioresour. Technol.**, 96:1730-1736. 2005.
- [8] COUILLARD, D.; ZHU, S. Thermophilic aerobic process for the treatment of slaughterhouse effluents with protein recovery. **Environ. Pollut.** 79:121-126. 1993.
- [9] CRITES, R.; TCHOBANOGLOUS, G. Tratamiento biológico y remoción de nutrientes. **Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.** Colombia: McGraw-Hill. 776 pp. 2000.
- [10] DEL NERY, V.; DAMIANOVIC, M.; BARROS, F. The use of upflow anaerobic sludge blanket reactors in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. **Water Sci. Technol.** 44:83-88. 2001.
- [11] DEL NERY, V.; NARDI, I.; DAMIANOVIC, M.; POZZI, E.; AMORIM, A.; ZAIAT, M. Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. **Res. Conserv. Recy.** 50:102-114. 2007.
- [12] HERNÁNDEZ, A. Mecanismos de la depuración biológica. **Depuración de las aguas residuales.** 2da. Ed. España: Colegio de Ingenieros de Caminos y Puertos. 927 pp. 1992.

- [13] KOBYA, M.; SENTURK, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater of electrocoagulation. **J. Hazard. Mater.** 133:172-176. 2006.
- [14] LI, J.; HEALY, M.; ZHAN, X.; RODGERS, M. Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in intermittently aerated sequencing batch reactor. **Bioresour. Technol.** 99:7644-7650. 2008.
- [15] LÓPEZ, R.; CASP, A. Aguas residuales. **Tecnología de mataderos**. Madrid: Multi-Prensa Libros S.A. Colección Tecnología de Alimentos. 430 pp. 2004.
- [16] MÁRQUEZ, A.; GUEVARA, E. Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. **Rev. Ing. UC.** 11:92-101. 2004.
- [17] MARTÍNEZ, J.; BORZACCONI, L.; MALLO, M.; GALISTEO, M.; VIÑAS, M. Treatment of slaughterhouse wastewater. **Water Sci. Technol.** 32:99-104. 1995.
- [18] MATSUMURA, E.; MIERZWA, J. Water conservation and reuse in poultry processing plant- A case study. Review. **Resour. Conserv. Recy.** 52: 835-842. 2008.
- [19] MELEÁN, R.; BONOMIE, M.; RODRÍGUEZ, G. Procesos productivos en la industria avícola zuliana. Fases de alimento, engorde y beneficio. **Rev. Fac. Agron. LUZ,** 25:160-184. 2008.
- [20] MIJINYAWA, Y.; LAWAL, N. Treatment efficiency and economic benefit of Zartech poultry slaughter house waste water treatment plant, Ibadan, Nigeria. **Scient. Res. Es.** 3:219-223. 2008.
- [21] NARDI, I.; FUZI, T.; DEL NERY, V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. **Resour. Conserv. Recy.** 52:533-544. 2008.
- [22] NEMEROW, N.; DASGUPTA, A. Industrias de elaboración de productos alimenticios. **Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos**. España: Díaz de Santos. 848 pp. 1998.
- [23] NÚÑEZ, L.; MARTÍNEZ, B. Evaluation of an anaerobic/aerobic system for carbon and nitrogen removal in slaughterhouse wastewater. **Water Sci. Technol.** 44:271-277. 2001.
- [24] REPÚBLICA DE VENEZUELA. **Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos**. Decreto 883. Gaceta Oficial N° 5.021. Extraordinaria. Lunes 18, de diciembre de 1995.Venezuela. 7 pp. 1995.
- [25] RUSTEN, B.; SILJUDALEN, J.; WIEN, A.; EIDEM, D. Biological pretreatment of poultry processing wastewater. **Water Sci. Technol.** 38:19-28. 1998.
- [26] SENA, R.; MOREIRA, R.; JOSÉ, H. Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. **Bioresour. Technol.** 99:8221-8225. 2008.
- [27] SPSS. Statistical package for the social sciences, version 10.0 para windows. Chicago. SPSS Inc.1999.