

Vol. 8 N° 1 • enero - junio 2018



EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN UNA EMPRESA DE CURTIEMBRE UBICADA EN EL MUNICIPIO JUNÍN, TÁCHIRA-VENEZUELA

(Evaluation of the residual water treatment plan in a tannery company located in the municipality
Junín, Táchira-Venezuela)

Verónica Silva¹, Mayra Cárdenas^{1,2}, Marcos Cárdenas^{1,2}

¹ Departamento de Ingeniería Ambiental, ² Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo Sostenible,
Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal-Venezuela
mcardenasg@unet.edu.ve

RESUMEN

Las aguas residuales de las curtiembres o tene-rías se caracterizan por poseer altos contenidos de materia orgánica e inorgánica, sólidos y grasas y aceites, las cuales al ser descargadas a los cuerpos de agua producen contaminación. Estos efluentes industriales requieren ser depurados en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) u otros procesos que disminuyan su composición contaminante. En la presente investigación se evaluó la PTAR de la empresa Procesadora de Pieles La Victoria C.A. PROPIELVICA, ubicada en el municipio Junín (Táchira-Venezuela), para ello se conoció el proceso productivo, se diagnosticaron las unidades físicas, químicas y biológicas de la PTAR y se cuantificó la eficiencia de remoción del sistema. Se siguió una investigación evaluativa, con diseño de campo no experimental, bajo un enfoque cuantitativo. El sistema tiene varias debilidades, de las cuales se destacan: equipos deteriorados, funcionamiento de procesos inadecuados e inexistencia de aplicación de cloro. Se encontró en la descarga de la plantas siguientes parámetros de calidad ambiental: sólidos totales $433,33 \pm 58,53$ mg/L, alcanzando una remoción de 92,39%; sólidos sedimentables 0 mL/L y eficiencia del 100%; demanda bioquímica de oxígeno $49,50 \pm 1,50$ mgO₂/L y 94,50% de remoción; demanda química de oxígeno $119,22 \pm 9,62$ mgO₂/L, con eficiencia de 91,19%; aceites y grasas

$19,67 \pm 6,66$ mg/L eliminación de 88,68%; coliformes totales y fecales ≥ 1100 NMP/100 mL. Estos últimos son los únicos que exceden los límites máximos establecidos para descargas líquidas en la norma venezolana. Se concluye que es necesaria la implementación de mejoras en el sistema de depuración.

Palabras clave: agua residual industrial, curtiembre, eficiencia de remoción, parámetros de calidad ambiental, planta de tratamiento.

ABSTRACT

The wastewater of the tanneries or tanneries are characterized by having high contents of organic and inorganic matter, solids and fats and oils, which when discharged to the bodies of water produce contamination. These industrial effluents need to be purified in wastewater treatment plants (WWTP) or other processes that reduce their pollutant composition. In the present investigation, the PTAR of the Fur Processing Company La Victoria C.A. PROPIELVICA, located in the municipality Junín (Táchira-Venezuela), for this the production process was known, the physical, chemical and biological units of the WWTP were diagnosed and the removal efficiency of the system was quantified. An evaluative research was carried out, with non-experimental field design, under a quantitative approach. The system has several weaknesses, of which stand out: deteriorated equipment, operation

of inadequate processes and inexistence of chlorine application. The following parameters of environmental quality were found in the discharge of the plant: total solids 433.33 ± 58.53 mg / L, reaching a removal of 92.39%; sedimentable solids 0 mL / L and 100% efficiency; biochemical oxygen demand 49.50 ± 1.50 mgO₂ / L and 94.50% removal; Chemical oxygen demand 119.22 ± 9.62 mgO₂ / L, with efficiency of 91.19%; oils and fats 19.67 ± 6.66 mg / L elimination of 88.68%, total and fecal coliforms ≥ 1100 NMP / 100 mL. The latter are the only ones that exceed the maximum limits established for liquid discharges in the Venezuelan standard. It is concluded that it is necessary to implement improvements in the purification system.

Keywords: industrial wastewater, tannery, removal efficiency, environmental quality parameters, treatment plant.

INTRODUCCIÓN

Las industrias de curtiembre son las encargadas de transformar las pieles en cueros, los mismos son distribuidos a otras empresas que los implementan como materia prima para la producción de diferentes productos. Para ello se suelen implementar tres tipos de etapas o fases productivas: húmedas, curtido y acabado. Las primeras también son llamadas de ribera, puesto que se desarrollan en un medio líquido y tienen como finalidad acondicionar los cueros.

Las etapas de curtido consisten, primordialmente, en la adición de compuestos químicos que estabilizan el cuero e impiden su deterioro o biodegradación. En los últimos procesos de acabado se definen las características finales del producto terminado (Romero y Bejarano, 2017).

La curtiembre representan un riesgo para el aire, agua, suelo y la sociedad (Romero y Bejarano, 2017). Para que los efluentes descargados en los cuerpos de agua no degraden el ambiente, se diseñan y construyen plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las cuales son sistemas constituidos por equipos y dispositivos para remover, transformar o eliminar los diversos contaminantes contenidos en el agua residual (Roa, 2009).

En el sector La Victoria del municipio Junín (Táchira-Venezuela), existe una empresa de curtiembre (comúnmente denominada tenería) cuya razón social es Procesadora de Pieles La Victoria C.A. PROPIELVICA. En ella existe una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) conformada

por unidades físicas, químicas y biológicas, donde son depurados los efluentes líquidos generados del proceso productivo para ser descargados al río Carapo. Según el último análisis de laboratorio allí realizado (ICLAM, 2011), los valores de coliformes totales resultaron superiores al límite permisible establecido en el Decreto 883 (1995).

Debido a que la empresa no cuenta con análisis de laboratorio actualizados y ha existido una mengua en la actividad productiva, el presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales existente en PROPIELVICA.

METODOLOGÍA

La investigación evaluativa se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo con diseño de campo no experimental, tomando como unidad de estudio la planta de tratamiento de agua residual de PROPIELVICA. Para lograr su evaluación se establecieron tres fases que se describen a continuación.

Fase 1: Descripción del proceso productivo de la empresa

Mediante las técnicas de revisión documental, observación en campo y entrevistas al personal involucrado, se buscó mostrar el proceso productivo de la empresa, haciendo énfasis en el uso del agua e insumos que pudieran repercutir en la generación de los efluentes líquidos.

Fase 2: Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual

Se describió y documentó el estado actual del sistema de depuración, con la finalidad de conocer su funcionamiento e identificar debilidades. En esta etapa se hizo uso de las mismas técnicas de recolección de datos de la primera fase y la cuantificación de caudal a través del método volumétrico.

Este último se realizó usando un recipiente plástico de 17 L, se efectuó la medición del tiempo de su llenado con el agua residual en cinco momentos diferentes para las principales actividades húmedas del proceso productivo y, posteriormente, se determinó una media del tiempo. Luego, se calculó el caudal promedio mediante la división del volumen de agua residual colectado entre la media del tiempo.

Fase 3: Determinación de la eficiencia del

sistema de tratamiento

Primeramente, se realizó el muestreo compuesto a volumen constante (Norma Venezolana COVENIN 2709:2002) del agua residual afluyente y efluente de la PTAR. Se tomaron ocho muestras puntuales en ambos puntos del sistema entre las 8:00 a.m. a las 11:30 a.m. del 23/22/2016, de las cuales se mezclaron 62,5 mL de cada una para formar las compuestas. Este día las descargas se originaron endesencalado. Las muestras se refrigeraron en una cava con hielo a una temperatura aproximada de 4 °C.

Las dos muestras compuestas obtenidas fueron sometidas a análisis en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Se determinaron los siguientes parámetros (con su respectivo método o equipo): DBO_{5,20} (Winkler modificado 5210B), DQO (digestión con dicromato de potasio 5220C), aceites y grasas (partición gravimétrica 5520B), sólidos totales (secado 2540B), sólidos volátiles y fijos (ignición 2540E), sólidos sedimentables (volumétrico 2540F), coliformes totales y fecales (-fermentación de tubos múltiples 9221B y 9221C), pH (PHmetro 2310B) y temperatura (termómetro 2550B) (APHA, *et al.*, 1992; Lara y Ramírez, 2008; Ramírez, *et al.*, 2012). Todos los parámetros que se cuantificaron en unidades de concentración se determinaron con un promedio de tres réplicas a cada muestra.

Finalmente, se hizo uso de la ecuación $\%Ef = [(X_o - X_e)/X_o] \times 100$ para la determinación del porcentaje de eficiencia de la PTAR (donde X_o : concentración o valor afluyente; X_e : concentración o valor efluente).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del proceso productivo

El proceso productivo se desarrolla por medio de una serie de etapas que se suelen dividir en tres grandes bloques: las húmedas, las de curtido y las de acabado (Tabla 1).

TABLA 1. Proceso productivo en la empresa de PROPIELVICA.

Etapas productivas	Principal actividad
Limpieza o remojo ¹	Eliminación de restos de sangre, tierra y estiércol
Pelambre ¹	Inmersión de los cueros en baños de cal y sulfuro de sodio, con la finalidad de lograr una mayor apertura interfibrilar
Descarnado mecánico ¹	Eliminación mecánica de restos de carne, endodermos, tejido proteico, grasa y pellejos en los cueros
Desencalado ¹	Remoción de la cal presente en los cueros
Piquelado ²	Adición de ácidos que permiten preparar químicamente los cueros para el curtido
Curtido ²	Adición de soluciones diluidas de sales de cromo o taninos que impiden la degradación de los cueros, inhibiendo la acción de los microorganismos responsables
Ecurrido ²	Eliminación del exceso de agua en los cueros, dejándolos con una humedad definida como "Wet Blue"
Dividido ³	Corte del cuero en su sección o espesor, separándolo en una parte interna (carnaza) y otra externa (piel), sobre la cual se realizan las etapas de acabado
Rebajado ³	Se hace pasar el cuero por una máquina la cual permite obtener el calibre o grosor deseado
Recurtido, tintura y engrase ³	Consiste en tres etapas conjuntas, mediante la introducción de cueros en bombos y la adición de baños de productos vegetales sintéticos, grasas y aceites, acrílicos y colorantes
Estirado y secado ³	Pretende eliminar las arrugas naturales de la piel, así como la humedad proveniente de la etapa anterior
Acondicionamiento, acabados finales, medición, empaque y despacho ³	Las pieles son rehumectadas y pasadas por una máquina de ablandamiento mecánico. Se definen las características finales del producto, la medición parcial y total de las pieles y, posteriormente, se envían a los clientes

¹Etapas húmedas, ² Etapas de curtido, ³Etapas de acabado. Fuente: adaptado de Procesadora de Pieles La Victoria C.A. (2016).

Varios de los procesos que se llevan a cabo en la empresa de curtiembre consumen agua y requieren el uso de sustancias químicas: cloruro de sodio, detergentes, cal, sulfuro de sodio, ácidos orgánicos e inorgánicos, sulfato de amonio, bisulfito de sodio, taninos o cromo, azúcares, grasas, aceites acrílicos y colorantes (Procesadora de Pieles La Victoria C.A., 2016). Muchos de estos insumos son utilizados mundialmente en las empresas de curtiembre, así como las mismas fases o etapas de producción. Todo ello contribuye a que se generen efluentes líquidos residuales, los cuales pueden ge-

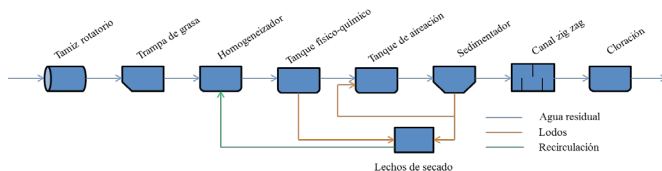
nerar daños ambientales en los cuerpos de agua receptores; por ejemplo: aumento de la salinidad y alcalinidad, aportes de materia orgánica, aceites y grasas, alteración del pH, disminución de oxígeno disuelto, toxicidad, entre otros (Romero y Bejarano, 2017).

Por otra parte, los caudales de agua residual cuantificados en la empresa, fueron los siguientes: a) para el remojo $1,58 \pm 0,10$ L/s; b) $1,80 \pm 0,08$ L/s para el pelambre; c) $1,66 \pm 0,07$ L/s en el desencañado.

Diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales

Antes de verter sus efluentes líquidos en el río Carapo, la empresa realiza un tratamiento que busca modificar sus características físicas, químicas y bacteriológicas (Figura 1), los cuales se detallan a continuación.

FIGURA 1. Diagrama de la planta de tratamiento de agua residual en la empresa de curtiembre



Fuente: Datos de la Investigación (2016).

Tamiz rotatorio: El agua residual ingresa por un extremo del tamiz y sale a través de la malla filtrante de acero inoxidable con orificios de 5 mm de diámetro; de esta manera los sólidos se acumulan en el interior de la malla y deben ser recogidos (Metcalf & Eddy, Inc., 1995). El tamiz es de 65 cm de diámetro, 1,75 m de longitud y cuenta con un sistema de rotación que no funciona. Algunas partes de la unidad están oxidadas y su estado general es de deterioro (Figura 2).

Trampa de grasas: Es el sistema convencional y sencillo para la remoción de aceites y grasas no emulsificadas, usado para establecimientos e industrias pequeñas (Romero, 2008). El efluente tamizado ingresa por medio de un codo de PVC de 6 in a este canal que presenta un largo de 21,30 m, ancho de 0,68 m y profundidad de 0,42 m. El

tanque posee 19 tabiques de concreto (Figura 2) que sirven para restarle velocidad y retener algunos cúmulos de grasas y residuos. No tiene una barrera de pared a pared que impida el paso de la mayoría de aceites y grasas a la unidad siguiente. La recolección de las pocas grasas acumuladas se hace de manera manual.

FIGURA 2. Tamiz de tambor rotario (izquierda) y trampa de grasa (derecha).



Fuente: Datos de la Investigación (2016).

Tanque receptor u homogeneizador: Este tanque es empleado para amortiguar las variaciones de caudal y carga, y lograr un efluente casi constante (Romero, 2008), por medio de una bomba sumergible que normalmente trabaja las 24 h/d. Presenta como dimensiones: largo 3,40 m, ancho 3,40 m y profundidad de 3,75 m. Aquí se neutralizan las aguas, de manera tal que el pH varíe de 8,5 a 9. Se dosifica cal en solución por medio de una bomba de presión temporizada de 1 hp, 3600 rpm, 110 voltios, marca Web. La cantidad de químico que se dosifica diariamente debería variar de acuerdo a las necesidades del sistema, pero en realidad siempre trabaja a 6 L/min. La solución se prepara disolviendo 12 kg de cal en un recipiente de plástico de 200 L. En la actualidad, debido a que el pHmetro se encuentra averiado, siguen aplicando la misma dosificación.

Tanque físico-químico: Aquí se realizan en conjunto los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, tiene forma cónica y está hecho en concreto y ladrillo (Figura 3). Presenta tres tuberías PVC de descarga hacia el resto del sistema: a) diámetro de 2 in y una válvula para la toma de muestras, b) 4 in (ambas descargan hacia el reactor biológico), c) 4 in que permite verter los lodos sedimentados a los lechos de secado.

Los procesos de coagulación y floculación en el tanque cónico se inician a partir de la inyección del sulfato de aluminio y del polímero catiónico en la tubería afluente de hierro galvanizado en donde hacen contacto con el agua residual que viene rápidamente debido a la bomba ubicada en

el tanque de homogeneización (mezcla rápida). Luego de concluida la descarga, se deja un mínimo de dos horas para que las partículas se aglomeren entre sí (mezcla lenta), sedimenten y sean removidas. No obstante, la coagulación, floculación y sedimentación deberían realizarse en compartimientos diferentes para que los procesos se den de manera correcta, ya que el sistema funciona con flujo continuo.

En relación al sistema de dosificación necesario para este tanque, se cuenta con bombas dosificadoras modelo RH65PM86 del tipo pistón-membrana, con motores de 0,5 hp, 220 V y 60 Hz. Es importante acotar que los mezcladores del sistema en los tanques para preparar las soluciones de químicos son constituidos con motores-reductores 3 hp, 220 V, trifásicos, 60 Hz y 80 rpm. La solución de sulfato de aluminio se inyecta a una concentración del 10% y con dosis de 4 L/min; mientras que el polímero catiónico se encuentra al 0,25% a 200 L/min (Procesadora de Pieles La Victoria C.A., 2016). Para preparar las soluciones se utilizan dos recipientes plásticos de 200 L sin tapa (Figura 3)

Tanque de aireación (lodos activados de aireación extendida): El tratamiento biológico tiene como finalidad depurar las concentraciones de sólidos suspendidos, nitrógeno, DBO y DQO presentes en el agua. Tiene un tiempo de retención de 24 horas (el cual está dentro del rango recomendado por Romero, 2008) y un soplador lobular con un motor de 5 hp, 1200 rpm, el caracol o cuerpo es de acero inoxidable; todo el tiempo está encendido a menos que haya racionamiento eléctrico. El suministro de aire en el fondo del tanque lo realizan tres mangueras de plástico resistentes de 1,5 in de diámetro con agujeros a lo largo de ellas, taponeadas en los extremos y conectadas al soplador.

El tanque de aireación está hecho en concreto, presenta un largo, ancho y profundidad de 3,70, 2,40 y 1,20 m respectivamente. Se resalta la formación de espuma blanca sobre parte la superficie, la cual es blanca y consistente, debido a la presencia de detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias (Carceller, 1998). Su presencia puede ser algo habitual en lodos activados, pero en ciertas condiciones de operación puede volverse excesiva y afectar las operaciones (Carlini, 2003). Como consecuencia del viento, la espuma es transportada a otros sectores de la planta, produciendo condiciones peligrosas de trabajo.

FIGURA 3. Tanque físico-químico cónico (izquierda), Sistema de preparación y dosificación de soluciones (centro) y Tanque de aireación del reactor biológico (derecha).



Fuente: Datos de la Investigación (2016).

Sedimentador secundario: Es un tanque con tolva cónica en el fondo, hecho de concreto y ladrillo, tiene un largo y ancho de 2,20 m y una profundidad de 2,40 m. Aquí ocurre un proceso de sedimentación para los floculos biológicos que se han formado en la unidad de tratamiento anterior. Según Metcalf& Eddy, Inc. (1995) y Romero (2008), el tiempo hidráulico óptimo para el sedimentador secundario varía entre 1,5 a 2,5 h, coincidiendo con el tiempo implementado en la PTAR, el cual es de dos horas. Parte de los sólidos decantados se recirculan nuevamente al tanque de lodos activado gracias a una bomba sumergible de 1200 rpm, 5 hp, trifásica, así se mantiene una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación (Collazos, 2008) y los lodos en exceso son llevados a los lechos de secado. El efluente clarificado va por rebose a desinfección.

Canal zig-zag: Este canal está hecho en concreto y ladrillo, con un largo de 11,28 m, ancho 0,62 m y profundidad de 0,20 m; cuenta con tabiques colocados de manera alterna, similar al canal trampa de grasas, los cuales permiten restar velocidad al efluente y captar sedimentos; de esta manera se busca mejorar la eficiencia de remoción. Hace algún tiempo se encontraba un dosificador de cloro al inicio del canal, el cual fue eliminado provisionalmente debido al incremento en el precio de las pastillas de cloro y a la reducción en la producción, por lo que actualmente no se está agregando el desinfectante.

Tanque de cloración: Según Metcalf& Eddy, Inc. (1995), el cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual, por lo que no es de extrañar que sea el método diseñado para la PTAR objeto de estudio. No obstante, el efluente proveniente del canal zig-zag ingresa al tanque de cloración sin recibir dosificación de desinfectante por las razones ya mencionadas; aunque se cum-

ple con el tiempo de retención de 30 min, según lo establecido por Metcalf & Eddy, Inc. (1995). Se considera innecesaria la presencia de dos tanques concebidos para el contacto entre el cloro y el agua residual.

Lechos de secado: El proceso de secado se refiere a los sistemas de desaguado de lodos que buscan reducir significativamente su contenido de agua (Romero, 2008). La PTAR consta de tres compartimientos, cada uno cuenta con un largo de 3,45 m, un ancho de 1,64 m y una profundidad útil para el ingreso de lodos de 0,38 m, construidos en concreto. Poseen en su interior una capa de grava, otra de carbón activado y una de arena (del fondo a la superficie), cada una con 0,20 m de profundidad.

Aquí son tratados los lodos provenientes del tanque físico-químico y del sedimentador secundario. El llenado de los compartimientos se realiza uno por uno; normalmente cada celda tarda en

llenarse de cuatro a cinco días, hasta alcanzar un espesor de unos 20 cm de lodo. El tiempo de secado se puede extender como máximo a siete días si hay precipitaciones o frío. Los lodos son removidos manualmente y retirados al vertedero junto a los subproductos provenientes del tamiz rotatorio y la trampa de grasas. En la parte inferior de los lechos existe un tubo de drenaje, a través del cual se recoge el líquido que percola y se reincorpora al tanque homogeneizador.

Eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual

En la Tabla 2, se presentan los valores de los distintos parámetros determinados al agua residual, antes y después de su tratamiento, así como los porcentajes de remoción. También, se muestran resultados de un estudio hecho al efluente depurado en 2011 y los límites permitidos por la norma venezolana.

TABLA 2. Parámetros del agua residual en el afluente y efluente de la PTAR en la empresa de curtiembre y su eficiencia de remoción.

Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)	Efluente (ICLAM, 2011)	Máximo permitido (Decreto 883,1995)
ST (mg/L)	5.694,00 ± 78,72	433,33 ± 58,53	92,39	37,00	-
STV (mg/L)	1.579,33 ± 34,43	297,33 ± 44,96	81,17	-	-
STF (mg/L)	4.114,66 ± 58,80	136,00 ± 83,45	96,69	-	-
SSed (mL/L)	6,50	0,00	100,00	<0,10	1
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	900,00 ± 40,00	49,50 ± 1,50	94,50	29,00	60
DQO (mgO ₂ /L)	1.354,00 ± 160,28	119,22 ± 9,62*	91,19	146,90	350
A y G (mg/L)	173,67 ± 18,72	19,67 ± 6,66	88,68	8,40	20
CT (NMP/100mL)	≥ 1.100	≥ 1.100	-	1,6 × 10 ⁶	1.000
CF (NMP/100mL)	≥ 1.100	≥ 1.100	-	5,4 × 10 ⁵	-
pH	10,40	7,20	-	8,58	6-9
T (°C)	30,20	22,40	-	20,74	± 3°C

Nota: ST: sólidos totales, STV: sólidos totales volátiles, STF: sólidos totales fijos, SSed: sólidos sedimentables, DBO_{5,20}: demanda bioquímica de oxígeno a los 5 d y 20 °C, DQO: demanda química de oxígeno, AyG: aceites y grasas, CT: coliformes totales, CF: coliformes fecales, T: temperatura. Todos los promedios y desviaciones estándar provienen de tres réplicas. El resto se corresponden con mediciones puntuales.

*Promedio y desviación de dos réplicas porque la tercera no arrojó lectura

Fuente: Datos de la Investigación (2016).

El porcentaje de STV con respecto a los ST en el afluente es de 27,74%, indicando que en esa proporción los sólidos pueden ser volatilizados cuando hay calcinación (Romero, 2008). Por su parte, los STF representan el 72,26%; este porcentaje indi-

ca el residuo que permanece después de incinerar los sólidos totales. En cuanto a los SSed, la planta cumple la normativa venezolana de descargas líquidas (Decreto 883, 1995).

Los sólidos presentes en esta agua residual se

originan en el proceso productivo de la empresa, específicamente en las etapas de remojo, pelambre, desencalado, piquelado, curtido y recurtición, tintura y engrase. Sus altos porcentajes de remoción se debena los tratamientos físicos y químicos: tamiz rotativo en el que quedan retenidos los sólidos voluminosos; tanque físico-químico donde se realiza la operación de coagulación-floculación y sedimentación de coloides y material suspendido; reactor biológico, porque se forma biomasa que se remueve principalmente en el sedimentador secundario.

En el caso de la $DBO_{5,20}$ y DQO en el afluente a la PTAR, se pueden considerar alta concentración de materia orgánica al compararse con los valores reportados para efluentes domésticos en localidades tachirenses (Dávila, 2015). Ambos parámetros mantienen el mismo orden de magnitud hallado por el ICLAM (2011) y no superan el valor máximo de descarga permitido en Venezuela. Es posible que cada unidad de la PTAR contribuya en alguna medida a la disminución de la materia orgánica en el agua residual (Romero, 2008).

La Tabla 2 muestra que también hubo una disminución considerable en la concentración de aceites y grasas (88,67%), no tanto por la función que realiza la trampa de grasas (no existe una barrera que impida el paso de los flotantes a la unidad siguiente). Su reducción puede deberse principalmente al homogeneizador, por cuanto este nunca queda vacío por completo, se acumula el material flotante en la superficie y, como se emplea una bomba sumergible que se encuentra en el fondo del tanque, la succión del equipo no aspira gran cantidad y no pasan a las unidades siguientes. Este hecho, puede asociarse como una de las causas por las cuales el promedio apenas logró estar por debajo del límite de la norma. La presencia de este parámetro en el efluente del proceso productivo se debe, entre otros, a la eliminación de grasas en la etapa de remojo y a la implementación de grasas en la recurtición, tintura y engrase para lograr suavidad en el cuero.

De manera general, las concentraciones de los distintos parámetros que ingresan a la planta de tratamiento se encuentran por debajo a las reportadas por otros estudios en empresas de curtiembre (Borges, 2016; Pardo, 2016). Esto puede estar asociado a diversos factores: fase del proceso productivo que se llevaba a cabo al momento de la toma de muestra, uso eficiente o no del agua, cantidad de producción industrial (la cual ha mermado en la em-

presa estudiada), tipo y calidad de la materia prima, entre otros (Vera y González, 2015; Pardo, 2016).

En cuanto al pH, se obtuvo 4,1 en el afluente del sistema de depuración, similar al reportado por Borges (2016). Este valor de acidez puede asociarse a las actividades productivas de la empresa: piquelado (uso de ácido fórmico y sulfúrico) y recurtición, tintura y engrase (Pardo, 2016). El pH aumenta hasta 7,2 en el efluente de la PTAR debido a que en el homogeneizador se adiciona cal.

Otro parámetro medido fue la temperatura. Al respecto, el afluente de la PTAR registró un valor de 30,2 °C, el cual se considera óptimo para la actividad bacteriana (Romero, 2008). Estos efluentes suelen presentar temperaturas elevadas, debido a que en la recurtición es necesario calor para conseguir un aumento de la blandura de la piel; favorece la tintura y mejora el engrase (Adzet *et al.*, 1985). La temperatura disminuye a medida que va transitando por todas las unidades de tratamiento, lo cual se puede asociar a los procesos de mezcla y reposo que tiene el líquido en los distintos procesos. El valor de descarga de 22,4 °C pudiera no afectar ni alterar la vida acuática, no obstante no es posible asegurarlo ya que no se realizó su medición en el cuerpo de agua receptor.

Finalmente, en cuanto a los coliformes totales y fecales, es un parámetro de contaminación que se registra, principalmente, porque los cueros a procesar vienen cubiertos por estiércol. El hecho de que el laboratorio donde se hicieron las mediciones no realizara diluciones en esta prueba, hizo que no fuese posible detectar si estos organismos van aumentando o disminuyen en el tratamiento del agua. Sin embargo, sí se puede afirmar el incumplimiento de este parámetro con respecto a los límites exigidos en la norma venezolana para descargas líquidas, tanto en el momento de realizar esta investigación como en el 2011, lo cual se debe a que en ambas ocasiones no se aplicaba cloro.

CONCLUSIÓN

Se evaluó la planta de tratamiento de agua residual de la empresa PROPIELVICA, destacándose que hay equipos deteriorados, unidades funcionando de manera inadecuada, tanques innecesarios y obligación de retomar la aplicación de cloro antes de la descarga al cuerpo receptor. Asimismo, los parámetros determinados al efluente están íntimamente ligados al proceso productivo que se realiza,

se cuenta con una alta eficiencia de remoción para casi todos los parámetros, dando cumplimiento a la normativa venezolana para descargas líquidas, con la excepción de los coliformes totales. Finalmente, se afirma que son necesarias mejoras en el sistema de tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adzet, J., Ballester, J., Bunyol, X., Clota, P., Gasso, P., Gasso, R., Gili, X., Gratacos, E., Palomas, J., Rodellino, L., Romera, E., Serra, E. y Soler, J. (1985). Química-Técnica de tenería. Ed. Romanyá/Valls.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España: Ed. Días de Santos.
- Benítez, N. (2011). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres. Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales (Revista en línea). Disponible en: <http://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ays/article/view/4335/6555> (consulta: 2016, Julio 18).
- Borges, J. (2016). Propuesta tecnológica para el curtido de pieles en la tenería "Patricio Lumumba" de Caibarién (documento en línea). Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7339/JESSICA%20BORGES%20VILCHES.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consulta: 2018, agosto 22).
- Carceller, J. (1998). Los fenómenos del "bulking" y "foaming" en las estaciones depuradoras de aguas residuales. (Revista en línea) Tecnología del agua 179, pp. 17-26. Disponible en: http://www.bibliotecagbs.com/archivos/ta_179_1.pdf (Consulta: 2017, mayo 15).
- Carlini, M. (2003). Problemas operacionales en plantas de tratamiento. (Documento en línea). Disponible en: https://www.puntoambiental.com/informes/problemas_operacionales_en_plantas_de_tratamiento.pdf (Consulta: 2017, mayo 12).
- Collazos, C. (2008). Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (documento en línea). Disponible en: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-22_01-ni12-45105733.pdf (Consulta: 2017, febrero 05).
- Dávila, A. (2015). Propuesta para la mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Juana Ramírez La Avanzadora, ubicada en Cordero, municipio Andrés Bello, estado Táchira. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Decreto 883 Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Gaceta oficial extraordinaria N° 5.021 (1995, Diciembre 18).
- Instituto Para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM) (2011). Caracterización físico-química y bacteriológica del efluente de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa procesadora de pieles La Victoria C.A. PROPIELVICA.
- Lara, M. y Ramírez, T. (2008). Guía de laboratorio ambiental I. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento vertido y reutilización. (3ª.ed). España: McGrawHill.
- Norma Venezolana COVENIN 2709:2002 Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo. Comité Técnico de Normalización CT44 Calidad Ambiental y FONDONORMA.
- Pardo, A. (2016). Diseño de una instalación para tratar el agua residual de la etapa de remojo generada en una industria de curtido mediante tratamiento físico-químico y proceso de membranas (documento en línea). Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68560/21702767-J_TFG_14677483189877999349019197701037.pdf?sequence=3&isAllowed=y (consulta: 2018, agosto 22).
- Procesadora de Pieles La Victoria C.A. PROPIELVICA (2016). Manuales de PROPIELVICA. Rubio, Venezuela.
- Ramírez, T., Santander, G. y Cárdenas, M. (2012). Guía de laboratorio ambiental II. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Roa, J. (2009). Fundamentos básicos de los

- procesos ambientales para ingenieros.(3ra. ed). San Cristóbal: Fondo Editorial UNET.
- Romero, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales Teoría y Principios de Diseño. (3ª. ed). Bogotá: McGraw-Hill.
- Romero, A. y Bejarano, D. (2017). Procedimiento integral para el mejoramiento del sistema de producción y tratamiento de aguas residuales de curtiembres en el Departamento de Cundinamarca, Provincia de Almeidas, Municipio de Villapinzón (documento en línea). Disponible en:<http://hdl.handle.net/10983/15598>(consulta: 2018, agosto 20)
- Vera, L. y González, F. (2015). Eliminación de cromo utilizando humedalesde flujo sub-superficial horizontal, Afinidad 72(571) pp. 213.217 (Revista en línea). Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/300888/390332>(consulta: 2018, agosto 22).