

Evaluación de los procesos de pretratamiento en un sistema de depuración de efluentes líquidos industriales del sector lácteo

Evaluation of the pre-treatment processes in a system for the purification of industrial liquid effluents from the dairy sector

K. A. Pimiento  ; M. J. Cárdenas-González  ; J. A. Villamizar-Florez 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.24948>

Artículo de investigación científica y tecnológica

Abstract—The discharge of industrial wastewater, especially from industrial food processing, contributes to the contamination of natural water bodies because of high content of organic and inorganic substances. To avoid this action, wastewater treatment plants are designed and built to remove pollutants presence. However, for different reasons, many of these systems can fail, causing discharges of pollution agents, directly affecting environment. The main objective of this research was evaluate the operation of the preliminary units of a dairy product industry wastewater treatment plant, located in Táchira, Venezuela. To carry out this evaluation, a methodology integrated by the following stages was applied: description of the pre-treatment units, quantitative and qualitative characterization of the liquid effluents, and description of the pre-treatment system actual conditions. Being able to determine that pre-treatment does not ensure the physical-chemical conditions for the optimal functioning of the subsequent units.

IndexTerms—dairy industry, effluent purification system, homogenizer, industrial wastewater, treatment plant evaluation.

Resumen—El vertido de aguas residuales industriales, especialmente las provenientes de la elaboración de alimentos a nivel industrial, contribuyen a la contaminación de los cuerpos de aguas naturales debido a su contenido elevado de sustancias orgánicas e inorgánicas. Para evitar esta acción, se diseñan y construyen plantas de tratamiento de aguas residuales, que remuevan, hasta cierto grado, los contaminantes presentes. No obstante, por diversas razones, muchos de estos sistemas pueden fallar, provocando descargas de agentes causantes de polución, afectando directamente al ambiente. La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el funcionamiento de las unidades de preliminares de una planta de tratamiento de efluentes en una industria de elaboración de productos lácteos, ubicada en Táchira, Venezuela; para llevar a cabo dicha evaluación, se aplicó una metodología integrada por las siguientes etapas: descripción de las unidades del pre-tratamiento, caracterización cuantitativa y cualitativa de los efluentes líquidos, y descripción de las condiciones existentes en el sistema de pre-

tratamiento. Se determinó que el pretratamiento no asegura las condiciones físico-químicas para el óptimo funcionamiento de las unidades posteriores.

Palabras claves—Agua residual industrial, evaluación de planta de tratamiento, homogeneizador, industria láctea.

I. INTRODUCCIÓN

UNO de los inconvenientes asociados con la depuración de las aguas residuales de las industrias alimenticias, son los estragos creados en las distintas unidades que conforman las plantas de tratamiento a raíz de la variabilidad de los componentes físico-químicos que estas poseen, debido a que son capaces de inducir fallas en los procesos biológicos de depuración y daños graves en los sistemas hidráulicos y mecánicos de distribución del flujo (bombas, tuberías y motores), lo que implica deficiencias de operación y remoción de contaminantes y afectación de la calidad final del efluente tratado.

Por lo antes descrito, el sistema de pretratamiento en una planta depuradora de aguas residuales juega un papel importante en el proceso general, ya que su función es acondicionar el afluente de las unidades secundarias; dependiendo de las características de la fuente de generación pueden diseñarse para cumplir con la separación de sólidos, grasas, incorporación de nutrientes y homogeneización de caudales y cargas orgánicas [1].

Ahora bien, en el sector de la industria láctea los efluentes que se generan pueden ser diversos, puesto que presentan fluctuaciones en los parámetros de aceites y grasas, pH, conductividad, temperaturas y cargas orgánicas, principalmente, los cuales, a su vez, dependen del tipo de tecnologías aplicadas en la producción, tipo de producto elaborado, así como también los procesos implementados [2],

Este manuscrito fue enviado el 19 de octubre de 2021 y aceptado el 16 de marzo de 2023. Este proyecto, bajo en No 04-012-2016, fue apoyado por el Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira y Nestlé Cadipro – Fábrica El Piñal.

Kleiver Pimiento investigador independiente, Buenos Aires, Argentina. e-mail: kp.livestrong91@gmail.com.

Marcos Cárdenas trabaja en la Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Táchira, Venezuela. e-mail: mcardenasg@unet.edu.ve

Jose Villamizar trabaja en la Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Táchira, Venezuela. e-mail: joseantonio.villamizar@unet.edu.ve



[3].

En la ejecución de esta investigación se seleccionó como objeto de estudio una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de una empresa que elabora productos lácteos en el estado Táchira, Venezuela. Esta organización del sector privado lleva a cabo el siguiente proceso productivo: recepción, estandarización, pasteurización y evaporación, homogeneización, lavado CIP - COP, llenado y lavado (Fig. 1).

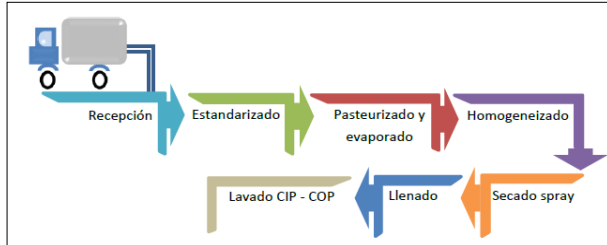


Fig.1. Etapas del proceso productivo

Los efluentes de la empresa transportan consigo una variedad de constituyentes orgánicos poco y altamente biodegradables; es decir, algunos poco asimilables como las grasas y aceites, pero otros fácilmente metabolizables como las proteínas, carbohidratos, azúcares, nutrientes, entre otros; además de presentar altos niveles de basicidad y temperatura, situación que es común en las aguas residuales provenientes de industrias lácteas [4]. Esta variabilidad en sus características demanda acondicionamientos y amortiguamientos previos al sistema de lodos activados. Es importante acotar que la unidad biológica de lodos activados constituye el tratamiento secundario de la PTAR y presenta vulnerabilidad funcional, por lo que debe garantizarse efluentes de calidad en el pretratamiento.

En este sentido, se presenta la evaluación del sistema preliminar de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de la empresa, constituido por las unidades de cribado y homogeneización (Fig. 2), realizada con la intención de verificar si el mismo cuenta con la capacidad suficiente para proporcionar el afluente acorde con las exigencias organolépticas, físicas y químicas previas al tratamiento biológico. Para ello, se realizó la observación y análisis de todos los aspectos del proceso productivo de la empresa, así como de las condiciones de operación y funcionamiento imperantes en todo el tren de pre-tratamiento.

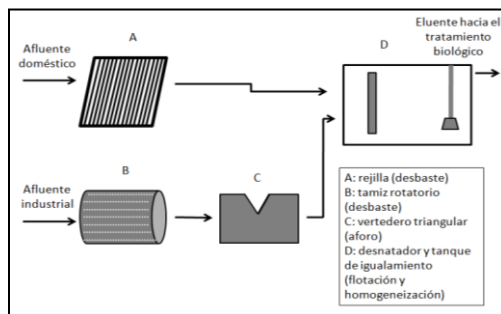


Fig. 2. Flujograma del pre-tratamiento de la PTAR

II. METODOLOGÍA

La investigación se adecuó al enfoque cuantitativo, debido a

A. Descripción de Unidades del pre-tratamiento

Los efluentes generados en la industria láctea se constituyen fundamentalmente de diluciones y restos de leche, derrames accidentales, líquidos producto de la limpieza, además de la caramelización de estas sustancias en las unidades y dispositivos hidráulicos. Por ende, dichos vertidos son sometidos a tratamientos físico-químicos combinados o de forma individual, con el fin de remover los sólidos y compuestos inmiscibles [2]. La fase de pre-tratamiento de la PTAR de la empresa está integrada por las siguientes unidades:

El desbaste tiene como principio la retención de sólidos que puedan obstruir válvulas, bombas, tuberías, entre otros [1]; a su vez, [5] señala que en las PTAR de las lecherías es usual encontrar cribas finas y tamices rotatorios de tal manera que retengan la conglomeración de los sólidos. Es usual emplear dispositivos para la medición de caudales, como lo son los vertederos triangulares e implementar unidades de homogeneización; esta última es necesaria por la heterogeneidad de los vertidos durante las jornadas de trabajo, con el fin de soportar los caudales punta y neutralizar las variaciones de pH [6], [7].

B. Caracterización Físico-química de las Aguas Residuales

Los parámetros evaluados en la caracterización de las aguas residuales de la empresa siguieron los lineamientos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales [8]. Los parámetros medidos fueron el pH, temperatura, DBO_{5,20}, DQO, aceites y grasas. En relación a los parámetros físico-químicos, todos los muestreos fueron simples, mientras que los parámetros orgánicos se determinaron a partir de muestras compuestas.

En las unidades de cribado los muestreos llevados a cabo para estos efluentes se efectuaron en la lámina del vertedero, haciendo uso de recipientes plásticos de 250 mL, con una frecuencia de 15 minutos a lo largo de las ocho horas laborales. La recurrencia se estableció debido a las constantes variaciones del caudal observadas en el sitio y al irregular e intermitente aporte de contaminantes químicos, principalmente hidróxido de sodio; físicos como las altas temperaturas; y orgánicos detectados durante el reconocimiento del área de proceso.

Dentro del homogeneizador se estableció un punto de muestreo en el área de descarga de afluentes, justo antes de la lámina metálica y otro después de la misma, bajo una recurrencia de muestreo de 30 minutos. El primer punto es estableció para determinar el potencial hidrogénico y térmico de la masa de agua en esta área del tanque, corroborando el enfriamiento y neutralización suficiente para justificar la posición actual de la bomba. Mientras que el segundo fue para evaluar la capacidad de amortiguamiento de la unidad en su área más alejada al punto de descarga; además de conocer las concentraciones de materia orgánica y grasas en ambos puntos. Para la toma se usó un recipiente plástico de 12 L de capacidad sujeto a un mecate, el cual permitió el descenso, para adquirir los volúmenes de muestra necesaria para los análisis posteriores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las condiciones existentes en el pretratamiento

En cuanto a las condiciones existentes del pretratamiento para las aguas residuales industriales y domésticas provenientes de la empresa láctea, se puede destacar que estas ingresan por conducciones separadas de 10 (in) de diámetro, primeramente, a un proceso de cribado o desbaste. Existe una cámara con rejillas de limpieza manual para los efluentes domésticos, la cual consta de barras rectangulares de hierro cuyo diámetro es de 1/8 (in) dispuestas paralelamente con separación de 2 cm entre sí, formando un ángulo de inclinación de 30° con la horizontal. En cambio, el vertido del proceso industrial llega a un equipo Roto Trainer, modelo RSA-2524 con motor propulsor de 11 r.p.m, localizado en una plataforma elevada sobre el foso seco y malla de 0,5 mm de abertura, el cual es un sistema auto limpiante de tambor rotatorio semi-sumergido (Fig. 3).

Luego, los efluentes del proceso son conducidos por un canal abierto de 30 cm de ancho y 23 cm de profundidad a la siguiente unidad. Al final de este canal existe un vertedero triangular diseñado para medir un máximo de 15 cm de altura de agua. Se han observado acumulaciones de arenas y piedras alrededor de 4 mm justo antes del vertedero, las cuales, por acumulación excesiva y arrastre, pasan al tanque de igualamiento.

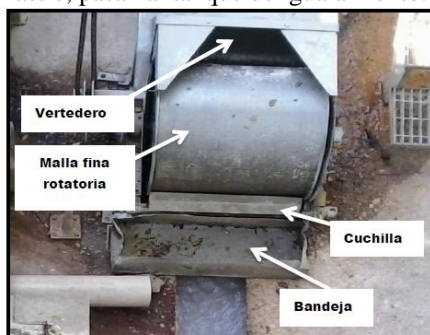


Fig. 3. Criba Roto Trainer, modelo RSA-2524

Posterior a la separación de sólidos, las aguas residuales domésticas y del proceso productivo llegan a un pozo de bombeo e igualamiento donde se mezclan entre sí. El ingreso se hace a desnivel: la descarga industrial se encuentra a 0,4 m sobre el piso del tanque y la de vertidos domésticos a 0,85 m, generando un resalto hidráulico.

El foso tiene 3,1 m de ancho, 4,85 m de largo y profundidad total de 3,7 m. La profundidad útil de llenado que este tanque proporciona, coincide con la altura de descarga del proceso; es decir, de tan solo 0,37 m, ya que esta constituye el nivel tope para el encendido de una bomba marca Mardi de 2,2 (hp), la cual posee un interruptor de nivel conectado a un tablero eléctrico que se encarga de bombear alrededor de 38 L/s de agua residual en forma automática o manual. En un principio, el agua almacenada en este tanque era bombeada por dos equipos sumergibles, en donde una de ellas permanecía en *stand by* mientras la otra se encontraba en operación; no obstante, una se encontraba averiada al momento del estudio.

Durante la investigación, el tanque de bombeo e igualación presentaba una lámina metálica que actuaba como desnatador para retener las grasas, sin embargo, carecía de algún equipo o mecanismo capaz de removerlas fuera de la unidad. La bomba se encuentra instalada directamente en el área de la entrada del agua residual; es decir, antes de la placa metálica (Fig. 4).

Por otro lado, cada tres a cinco días, en periodos de tres a seis semanas, se realizó el vaciado de 250 kg/d de leche seca y pulverizada al tanque igualador; esto como consecuencia de su caducidad, o por la pérdida de su calidad originada por el calcinamiento del alimento. Por otro lado, se han detectado cuatro grietas en la pared que separa el homogeneizador y el tanque de aireación del reactor de lodos activados, desde la cual dreña permanentemente agua hacia el primero.



Fig. 4. Ubicación de la bomba y lámina metálica en el homogeneizador.

Además, se puede afirmar que la reja de desbaste inicialmente fue concebida para la remoción de papeles, trapos y otros sólidos voluminosos. Sin embargo, nunca se ha observado que tales elementos ingresen al sistema. El único aporte de sólidos lo constituyen materias fecales que en los conductos hacia la PTAR se disuelven o disgregan, implicando el arribo de materias que no representan riesgo para los equipos de bombeo ni tratamientos posteriores.

Aun cuando la retención de sólidos es insignificante, la limpieza poco frecuente (bimensualmente) fomenta la formación de capas gruesas de biopelículas que, al atrapar los desechos orgánicos, reducen el área de paso a través de las rejillas, induciendo pérdidas excesivas de carga que, en muchas ocasiones, provocan el desbordamiento de la unidad.

En cuanto al tamiz rotatorio existente, se observó que no retiene ningún tipo de material (Fig. 3), por cuanto la composición de las aguas industriales se limita a diluciones de leche y químicos de limpieza. Por lo tanto, el equipo está implicando un despilfarro energético a raíz de los consumos innecesarios de electricidad.

También se destaca el deterioro del piso y las paredes del foso de pretratamiento. En lo que respecta al piso que soporta la criba rotatoria, se encuentra erosionado (está expuesta la piedra gruesa y el refuerzo metálico), debido a los salpicamientos constantes y desbordes frecuentes de agua del proceso. Adicionalmente, en las paredes se han identificado varias filtraciones de la humedad del terreno circundante hacia el foso. Algunas de las grietas drenan una cantidad constante de 0,5 L/min de agua aproximadamente.

El vertedero triangular carece de una mira para la medición de la altura del líquido y, por tanto, no permite estimar fácilmente el caudal, aunado a la inexactitud de la unidad al

reportar valores tomados del mismo con respecto a pruebas volumétricas en el sitio de estudio.

En lo que concierne al foso de bombeo e igualamiento, el ingreso a desnivel del agua residual doméstica e industrial genera un resalto hidráulico que pudiera propiciar algún mezclado y transferencia de oxígeno. El bombeo automático desde este tanque es realizado cada vez que el nivel de agua alcanza el tope predefinido, por lo que la frecuencia de encendido varía en función de las fluctuaciones del caudal. El bombeo manual es realizado cuando se requiere menor frecuencia de suministro hacia el reactor, o cuando se necesite un mayor tiempo de retención en el tanque para amortiguar el pH alcalino. Esto ha supuesto un problema, por cuanto el retener agua más allá del nivel tope de almacenamiento provoca que el foso anterior, donde se ubica el sistema de desbaste, se inunde por completo.

La avería reportada de uno de los equipos de bombeo se debió, presuntamente, por la abrasión generada por partículas inertes que ingresan al tanque. Esto implica que dicho efecto puede replicarse en la bomba operativa, por cuanto el igualador también funciona como desarenador y decantador primario, cuyos sedimentos acumulados son succionados hacia el reactor.

Otro de los inconvenientes observados es que la bomba se encuentra directamente en el área de entrada (Fig. 4); es decir, antes de la placa metálica, en lugar de localizarse después de ésta y en el extremo opuesto del tanque en donde la masa de agua es más uniforme, lo cual supone que el agua bombeada a la siguiente unidad es irregular en su composición. Por otra parte, la descarga de leche en polvo directamente en el homogeneizador pudiera generar cargas de choque en el reactor biológico durante estas actividades, a raíz del incremento abrupto del contenido de materia orgánica.

Con respecto al agua que drena por las paredes desde el reactor biológico al tanque igualador, el problema radica en el efecto de socavamiento producido con el paso del tiempo, puesto que la presión que ejercer la masa de agua en dichos puntos podría provocar el colapso estructural de la unidad.

Pese a estos hechos, por lo general, no se perciben olores desagradables indicativo de condiciones anaeróbicas, lo cual se puede atribuir a la poca profundidad de almacenamiento que favorece la transferencia y presencia de oxígeno disuelto, al leve chapoteo de la descarga de agua doméstica y del proceso, y al tiempo de residencia de la masa de agua en el tanque que nunca supera las cuatro horas [9]. La incorporación o existencia de pre-tratamientos de desbaste y homogeneización se ha reportado en otros sistemas de depuración de empresas lácteas [7], [10], [11], [12] y de alimentos [13].

Caudal

Los aportes de agua residual al homogeneizador fueron mayores en los días donde hubo procesamiento industrial (Tabla I).

TABLA I.
APORTES VOLUMÉTRICOS AL HOMOGENEIZADO

Fecha	Proceso industrial	Volumen aportado (L/8 h)	Fecha	Proceso industrial	Volumen aportado (L/8 h)
11/07/2016	Sí	47535,61	28/07/2016	No	12330,54
12/07/2016	No	15364,26	28/07/2016	Sí	70125,61
13/07/2016	Sí	91695,03	01/08/2016	Sí	40064,09
14/07/2016	No	15922,62	02/08/2016	No	15673,24
15/07/2016	Sí	76519,09	03/08/2016	Sí	119799,87
18/07/2016	Sí	62585,76	05/08/2016	Sí	79685,42
20/07/2016	Sí	130832,54	08/07/2016	Sí	60387,04
22/07/2016	Sí	120999,50	09/08/2016	No	8920,85
25/07/2016	Sí	134872,19	10/08/2016	No	12981,67
26/07/2016	Sí	16054,16	12/09/2016	Sí	66266,31
27/07/2016	Sí	53608,17	16/08/2016	Sí	142074,50

Los aportes volumétricos atribuidos a cada día de estudio (Tabla I), evidencian que durante los días de inoperación, por lo general, siempre son inferiores a 20.000 L/8 h, mientras que en días de operación estos son superiores a 40.000 L, llegando a un máximo detectado de 142.075 L/8 h. Ante esta situación, si se toma en cuenta que en la unidad de homogeneizado cada vez que ingresan 5.563 L de agua residual la bomba inicia el proceso de vaciado, los tiempos de detención hidráulica pueden resultar en tan solo 0,25 o en 3,5 horas dependiendo de si hay o no operación en fábrica.

Esto ha implicado que aun cuando la bomba proporciona un caudal constante hacia el reactor biológico durante el bombeo, el hecho de que ésta evacue con una frecuencia directamente proporcional al caudal total que ingresa, no asegura la igualación de manera permanente. La necesidad de ajustar el sistema para que las 24 horas del día exista un suministro ininterrumpido es evidente [14], con la finalidad de eliminar la intermitencia de los aportes y mantener flujos equilibrados en su composición para el dominio de poblaciones microbianas benéficas en el tratamiento biológico [15].

pH

En cuanto a los parámetros de calidad del agua, el potencial de hidrogeno en las aguas residuales de origen doméstico fue de 7 y 8,5, el cual es común para efluentes provenientes de sanitarios y áreas administrativas [16]. El efluente industrial presentó mayores variaciones durante los días de seguimiento, encontrándose que pueden ocurrir ocasiones extremas con pH de 2,13 y 13, asociado, principalmente, al uso de ácidos y bases en la limpieza de las instalaciones, maquinaria y tuberías en las áreas productivas. La variabilidad del pH de efluentes de la industria láctea suele ser común [4].

En el caso del homogeneizador, en la zona cercana a la entrada (antes del desnatador) el pH era muy similar al presentado en los afluentes antes de ingresar al cribado, mientras que los medidos en la región después del desnatador denotaron un mayor efecto de homogeneización. Estas variaciones del pH no involucran un riesgo en el

funcionamiento de las unidades posteriores de tratamiento, por cuanto en las lecturas obtenidas el 81,13% se mantuvo en el rango del agua doméstica, mientras que el 0,85% de las medidas se evidenció un descenso del pH pero se mantuvo por encima de 6,5; los valores superiores de 8,5 representaron el 18,87%. Es de importancia señalar que en el proceso productivo prevalecen sustancias alcalinas, pero también se pueden presentar líquidos que contribuyen a la acidulación o neutralidad. Ahora, en el comportamiento del potencial de hidrogeno en el foso de bombeo e igualamiento no se observó una marcada diferencia en el afluente y efluente, por lo que se infiere que al momento de ingresar vertidos alcalinos no se presentarán amortiguamientos en la unidad.

En esta unidad se garantiza el mezclado del agua residual, por cuanto su ingreso es en sentido descendente vertical y diagonal, pasando del área de desnatado hacia el área de igualamiento de forma horizontal.

En el homogeneizador se evidenció la capacidad de neutralización apenas del 1% y 4% al llevarse a cabo la mezcla de los flujos presentes en la unidad con los que ingresan. Cuando el pH de los vertidos estuvo en el rango de 9 y 11 la unidad cumplió con el amortiguamiento debido a la poca frecuencia de estos efluentes. Sin embargo, cuando se registró el potencial de hidrogeno de 12,5 y la actividad industrial fue intensiva la capacidad de amortiguamiento no se llevó a cabo. Los efluentes del homogeneizador, al ser muy alcalinos, colocan en riesgo el funcionamiento eficiente de la unidad secundaria (tratamiento biológico aerobio), puesto que el pH es un factor clave en el crecimiento de microorganismos; difícilmente pueden desarrollarse con valores por encima de 9,5 o por debajo de 4, siendo el rango ideal entre 6 y 8, de lo contrario se induce a la muerte los mismos y afecta directamente la eficiencia de remoción. Otro de los problemas asociados al descontrol del potencial de hidrogeno en el tratamiento biológico es la desfloculación, se evidencia por el enturbiamiento en el sobrenadante del reactor e incurre en la pérdida de microorganismos en los efluentes tratados [17].

En la Fig. 5 se detalla la variación del pH dentro del homogeneizador y área de desnatado.

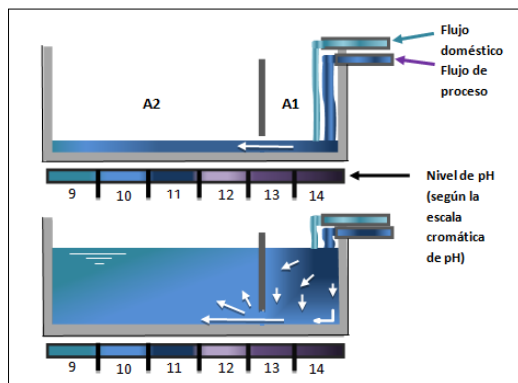


Fig. 5. Modificación vertical del pH en el homogeneizador en relación al movimiento de la masa de agua y el nivel de profundidad (corte transversal)

Las situaciones mencionadas demuestran la necesidad de mejorar el mezclado para asegurar la homogeneización o el

aumento de la capacidad volumétrica para asegurar mayor neutralización [18]. En [13] se compilan algunos casos en los cuales el reducido volumen de homogeneizadores ocasionó insuficiente neutralización de las variaciones en el pH de efluentes industriales. Esto permite rescatar la importancia de un diseño apropiado de este tipo de unidades de tratamiento en función de las variaciones de caudal reales, por cuanto un volumen reducido minimiza la neutralización y en el caso contrario, capacidades mayores a las necesarias, también generan perjuicios como descargas con pH ácidos asociados a procesos anaeróbicos en los homogeneizadores por elevados tiempos de retención, altas cargas orgánicas en efluentes industriales e insuficiente (o inexistente) incorporación de oxígeno [13].

Temperatura

Los efluentes de industrias lácteas suelen tener elevadas temperaturas [4] debido a las particulares del proceso productivo y algunas actividades de limpieza para eliminar grasas y aceites. En esta investigación, el agua residual industrial registró una temperatura entre 40 y 51,42 °C. En cambio, hubo una variación entre 24 y 30 °C para los vertidos domésticos, estando acorde a este tipo de efluente [19]. Dentro del homogeneizador, en la zona afluente se registraron valores entre 37 y 50 °C, y en la zona alejada de la entrada fue de 28 a 34 °C. En la Fig. 6 se observa el descenso de la temperatura a medida que el líquido avanza a la salida de la unidad.

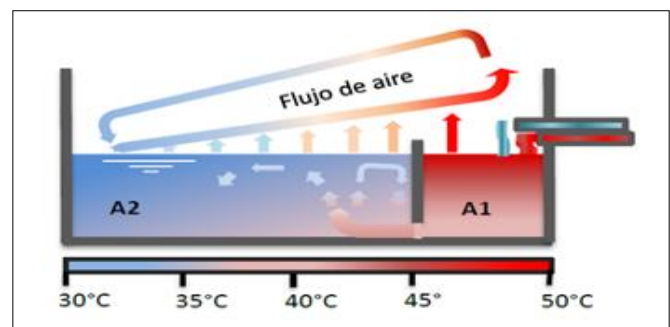


Fig. 6. Variaciones térmicas de la masa de agua dentro del foso de bombeo e igualamiento

En la unidad se produce la disipación de la energía térmica, puesto que el área superficial de la misma y la presencia de la lámina del desnatado favorecen el intercambio de calor por convección de la masa de agua superficial al aire. No obstante, en el área del desnatado queda en la parte superior el agua más caliente producto de la disminución de la densidad, evitando el proceso convectivo de forma natural [20]; sin embargo, la presencia de la lámina fuerza este movimiento de circulación reduciendo la temperatura del flujo. En el área de salida la temperatura es de 34°C, el cual está cercano al valor máximo para el funcionamiento óptimo de la unidad biológica aerobia (38°C), representando un potencial riesgo, pues este parámetro interfiere en la solubilidad y transferencia del oxígeno, producción y sedimentación de lodos y el volumen del reactor [9].

Aceites y grasas

En el análisis de este parámetro se constataron diferencias en los valores de concentración entre ambos tipos de efluentes. Para la fecha del 12/08/2016 se encontraron 18 mg/L de aceites y grasas en el agua residual doméstica vertida en la PTAR, mientras que para el líquido industrial las mediciones durante cinco días del mismo mes y año señalados, oscilaron entre 13 y 73 mg/L. En el interior del homogeneizador se llegaron a registrar 4362 mg/L de este parámetro, observándose una diferencia significativa que superó 60 veces el valor al momento de ingresar el flujo a la unidad de tratamiento, lo cual se originó por la acumulación de la masa de agua dentro del tanque.

En la Fig. 7 se muestra la simulación de cómo se realiza el vaciado y llenado del foso; las capas de grasas y aceites (equivalente a la concentración) aumentan su espesor. Durante un primer llenado; es decir, cuando la concentración teórica de 91,5 mg/L en 1,17 horas podría ser detectada en el foso, la capa de grasas y aceites adquiere un espesor "a" que se mantiene casi en su totalidad como remanente. Este remanente persiste como consecuencia del breve tiempo en el que el manto "a" logra estar al nivel de succión de la bomba (tres segundos), antes de detenerse. Por supuesto, se logra evacuar una fracción de aceites y grasas, pero no la suficiente como para impedir que durante el segundo llenado la carga entrante casi duplique el espesor inicial de "a" hasta "b" (183mg/L).

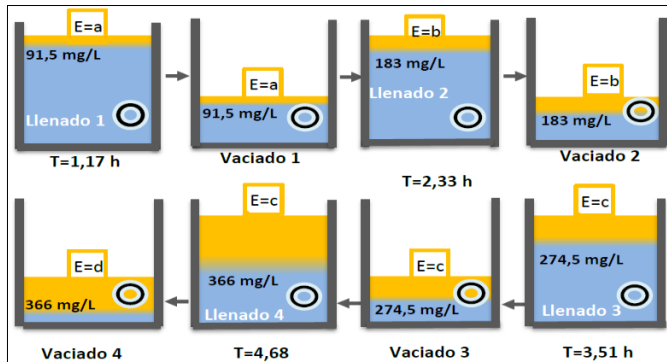


Fig. 7. Representaciones de la acumulación de aceites y grasas en la superficie del agua dentro del homogeneizador

Una concentración hipotética de 366 mg/L (cuatro veces mayor a la inicial) se alcanzaría en el cuarto llenado del foso. El alcance de la investigación no permitió conocer con exactitud los remanentes de grasas después de cada vaciado para así estimar el tiempo que tardan en presentarse tales concentraciones, pero es evidente que, para un determinado momento, los aceites y grasas pueden, incluso, sobrepasar los 4.362 mg/L. En consecuencia, aunque ingresan bajas cantidades de estas sustancias a la PTAR, su aglutinamiento en la unidad de igualamiento hace que sus concentraciones sean mayores por unidad de volumen.

La presencia de estas sustancias puede comprometer el funcionamiento de las unidades posteriores, en especial el reactor biológico, debido a su alta tasa de oxidación lo que puede provocar condiciones de anoxia, aumentando la posibilidad de desarrollar microorganismos filamentosos [21].

Además, las grasas y aceites al ser menos densos que el agua tienden a flotar en la superficie de las unidades lo que repercute directamente en la transferencia del oxígeno [21].

En el mismo orden de ideas, estos compuestos se oxidan pero son difícilmente degradables en condiciones aerobias por lo que estarán presentes en todas las unidades de tratamiento, incluso pueden afectar el secado de los lodos por sus características tixotrópicas [21].

DBO_{5,20} y DQO

En cuanto a la DBO_{5,20} y DQO los resultados se detallan en la (Tabla II). Dentro del homogeneizador se encontraron relaciones de DBO_{5,20}/DQO similares en los días muestreados.

TABLA II.
CONCENTRACIONES DE MATERIA ORGÁNICA DENTRO DEL
HOMOGENEIZADOR

Fecha	mg/L DBO _{5,20}	mg/L DQO	DBO/DQO
08/08/2016	615	941	0,65
09/08/2016	454	627	0,72
10/09/2016	616	862	0,71
11/08/2016	568	784	0,72
24/10/2016*	605	897	0,67
Promedio	572	822	0,70
Desviación estandar	69	123	0,03

*Agua residual doméstica con 108 mg/L de DBO_{5,20} y 273 mg/L de DQO; agua residual industrial con 1125 mg/L de DBO_{5,20} y 3097 mg/L de DQO.

Los niveles de concentración conseguidos dentro de la unidad de igualamiento (Tabla II) reflejaron un valor promedio de 572 ± 69 mg/L de DBO_{5,20}; es decir, niveles de amortiguamiento capaces de reducir las DBO_{5,20} del proceso en alrededor de un 40%, principalmente debido al efecto producido por la dilución y mezcla natural entre flujos de proceso con alta y baja DBO_{5,20}, además de los domésticos.

A pesar de valores mayores en el efluente industrial y menores en el doméstico, se consiguió una DQO promedio de 822 ± 123 mg O₂/L en la masa de agua del homogeneizador (Tabla II), gracias al mezclado de ambos caudales. Esta combinación imposibilita establecer una eficiencia real en relación a cada afluente en el tanque. No obstante, si se compara la media en el homogeneizador de 822 mg/L con el promedio ponderado obtenido del proceso de 2.644 mg/L de DQO, se logran asociar eficiencias de reducción en torno al 69%, que se han de incrementar en la medida que las cargas orgánicas de los efluentes operativos se hagan inferiores en los días de baja producción.

Con respecto a la materia orgánica, se evidencia la disminución de los valores en el homogeneizador, al compararse con los afluentes crudos y con aguas residuales en otras empresas lácteas [14],[22]; es decir, efectivamente hay un efecto de igualación de las cargas orgánicas. Las reducciones de materia orgánica en el homogeneizador son similares a las reportadas para algunos tanques sépticos [23].

Por su parte, al analizarse la realidad de otros parámetros de calidad, sobre todo lo referente al pH (y en segundo lugar la

temperatura), se evidencia que el homogeneizador no se logra los valores que aseguren las condiciones para la depuración biológica posterior, por lo que es necesario implementar algunas medidas de mejoras como: aumento de la capacidad volumétrica de la unidad de tratamiento, diseño y flexibilidad operativa para condiciones de baja o nula operación y los opuestos picos de producción, mejoras en el mezclado, cambio de ubicación de la bomba y ajustes en las conducciones hidráulicas, las cuales se mostraron en [18]. También se evidenciaron debilidades en las unidades de tratamiento del cribado/tamizado que ameritan intervenciones.

IV. CONCLUSIONES

Se evaluaron los procesos de pre-tratamientos existentes en el sistema de depuración de las aguas residuales en una industria que procesa productos lácteos, en la cual se evidenció que los efluentes de aguas residuales constituyen una mezcla de compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (diluciones de leche, natas, grasas, carbohidratos, etc.), acompañados por altos niveles de pH debido al NaOH empleado durante las operaciones de lavado químico y elevados niveles de temperatura resultantes de la purga de calderas e intercambiadores de calor. Adicionalmente se pudo constatar que las aceites y grasas alcanzaron valores superiores en comparación al afluente debido al aglutinamiento dentro de las unidades en estudio, por su parte se logró reducir la DBO_{5,20} en un 40% producto de la dilución y DQO en un 69%.

En el mismo orden de ideas, se observaron debilidades en las unidades de tratamiento: cámara de desbaste, vertedero triangular para el aforo y el homogeneizador, así como el despilfarro energético en el tamiz de tambor rotario. El tanque de bombeo y homogeneización no logra generar un efluente que garantice un adecuado tratamiento en los procesos posteriores, con lo cual se pone en peligro el cumplimiento de los parámetros de descarga. Cuando se excede el afluente en la PTAR (caudal de diseño original) para lo cual fue construida, en la misma unidad (homogeneizador) se inducen frecuencias de bombeo demasiado altas que sobresaturan a las unidades secundarias, por ello es necesario realizar mejoras en las unidades de pre-tratamiento estudiadas.

REFERENCIAS

- [1] G. Kiely. "Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión". Ed. 1era. España: McGraw-Hill, 1999.
- [2] J. Brennan, J. Butters, N. Cowell y A. Lilly. "Las operaciones de las ingenierías de los alimentos". Ed. 3era. España: Acirbia, 1998.
- [3] Ministerio del Ambiente. "Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector lácteo". España: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio del Medio Ambiente, 2005.
- [4] J. Armijo; H. Azogue; S. Barragán y A. Freire, "Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea" JAIS, vol. 3, 21-26. 2021. DOI: 10.17268/JAIS.2021.003.
- [5] A. Pascual. "Gestión y mantenimiento de depuradoras en industrias agroalimentarias – Sesión 1: introducción". [online], (s.f.). Disponible en https://www.ainia.es/html/sites/09/portalsociado/curso_depuradoras.pdf
- [6] A. Arango y L. Garcés. "Tratamiento de las aguas residuales de la industria láctea". Producción + Limpia, 2(2): 23-30, 2007. Disponible en:

- http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/P_L_V2N2_23-30_electrocoagulaci%C3%B3n.pdf
- [7] A. Gonzalez. "Análisis de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales industriales: potencial del sector para Canarias. Universidad de La Laguna, [online] 2020. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21411>
- [8] APHA, AWWA y WPCF. "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". España: Días de Santos. 1992
- [9] J. Romero. "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño". Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.
- [10] L. Saenz. "Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la Planta de Lácteos Oasis". Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, [online] 2014. Disponible en: <http://dSPACE.espace.edu.ec/handle/123456789/3217>
- [11] J. Prato y A. Bravo. "Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la planta de lácteos de la Facultad de Ingeniería". Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, [online] 2020 disponible en: <http://dSPACE.unach.edu.ec/handle/51000/7041>
- [12] C. Palate y A. Romero "Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa láctea "La Esencia" ubicada en el Cantón Pillaro, provincia de Tungurahua". Ambato, Universidad Estatal Amazónica, [online] 2020. Disponible en: <http://201.159.223.17/bitstream/123456789/841/1/T.AMB.B.UEA.%20%203280.pdf>
- [13] K. Pimiento y M. Cárdenas. "Evaluación del pretratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita, Venezuela" INGE CUC, 17(1). 2021. DOI: 10.17981/ingecuc.17.1.2021.01
- [14] W. Scholz Tratamiento mediante Biorreactor de Membranas de los efluentes de tenería con eliminación del nitrógeno y un proceso de bajo coste de secado de fangos. Journal de Aqecic, 66 (1), p. 13-18, 2015. Disponible en: <http://www.aqecic.org/web/journal/repo/2015/V66N1/esp/03.pdf>
- [15] Metcalf & Eddy, Inc. "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización". Madrid, McGraw-Hill, 1995.
- [16] M. Santana. "Monitoreo de parámetros de calidad de agua en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de Tepeji del Río, Hidalgo" Hidalgo, Universidad Autónoma de México [online] 2020. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/110004>
- [17] J. Mayta y A. Nahui. "Determinación de los parámetros de operación de un bioreactor aerobio de lodos activados para la biodegradación del efluente residual de la unidad de producción de lácteos de la Facultad de Ingeniería en Industria Alimentarias". Universidad Nacional del Centro del Perú [online] 2010. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/48>
- [18] K. Pimiento y M. Cárdenas. Diseño de mejoras en la homogeneización de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales ubicada en Venezuela. XXXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental [Ponencia oral]. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Argentina-2021. [Pendiente de publicación de las memorias del evento].
- [19] V. Gomes de Sousa; M. Gurgel; S. Gondarte; F. Lima; L. di Souza y R. Guedes. "Desempenho de estação de tratamento de esgoto doméstico no semiárido brasileiro e potencial de seu efluente para fins de irrigação". BJD vol. 7 159-174. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n4-197
- [20] Y. Cengel y J. Cimbala. "Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones". México, McGraw-Hill, 2006.
- [21] Iagua. "La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento de agua residual urbana" [online] 2018. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>
- [22] E. Guaña. "Diseño del sistema de tratamiento del agua residual en la planta de lácteos Lactogal CIA. Ltda. Riobamba", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, [online] 2014. Disponible en: <http://dSPACE.espace.edu.ec/handle/123456789/3206>
- [23] C. Madera; J. Silva y M. Peña. "Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico – filtro anaerobio y humedales subsuperficiales". Ingeniería y Competitividad, 7 (2): 5-10, 2005. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478001.pdf>



Kleiver Antonio Pimiento, es Ingeniero Ambiental egresado de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). Cuenta con experiencia técnico-práctica y experimental en el tratamiento de aguas residuales y potables, la gestión de residuos sólidos y el uso de energías

alternas en grandes industrias de alimentos y medianas empresas, donde, además, ha desempeñado funciones como investigador, proyectista, auditor y evaluador de campo. Ha sido responsable de proyectos destinados al desarrollo socioambiental y económico de comunidades que ameritan soluciones de índole ingenieril en Venezuela y Argentina. Se ha desempeñado como conferencista y ponente en diversos eventos académicos nacionales e internacionales en el área de ciencia, tecnología e ingeniería. Su experiencia más reciente ha consistido en prestar apoyo técnico en proyectos y obras de ingeniería en Buenos Aires-Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9780-8425>



Marcos José Cárdenas González, es Ingeniero Ambiental (2009) egresado de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) en Venezuela, diploma en Construcción Civil (IUFRONT, 2011), con escolaridad culminada en Maestría en Gerencia Ambiental de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la

Fuerza Armada Nacional Bolivariana (UNEFA) y maestrante en Gerencia Educativa de la UNET. Fue Ingeniero de Proyectos en Bombas Táchira C.A., diseñando, construyendo y evaluando sistemas de tratamiento de agua (2009-2012). Desde 2011 es personal académico del Departamento de Ingeniería Ambiental de la UNET, cuya línea de investigación y extensión está ligada, sobre todo, a tratamiento del agua residual. Ponente, autor de artículos y facilitador de cursos en calidad y tratamiento del agua, y gestión ambiental. Ha ejercido cargos de gerencia académica en el Departamento de Ingeniería Ambiental y el Decanato de Investigación de la UNET. Actualmente, también es docente/tutor virtual del Instituto Profesional IACC en Chile, en el área ambiental y consultor del Clean Air Institute – EE.UU.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4813-541X>



Jose Antonio Villamizar Florez, es Ingeniero Ambiental (2018) egresado de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) en Venezuela, personal académico adscrito al Departamento de Ingeniería Ambiental, apoyo profesional adscrito al Laboratorio de Ingeniería Ambiental e investigador en el Laboratorio de Investigación Ambiental y Desarrollo

Sostenible de la UNET. Es Técnico Superior Universitario en Relaciones Industriales (2018) egresado del Instituto Universitario de Tecnología Henry Pittier. Su experiencia más reciente fue como profesional en una Organización No Gubernamental en el área ambiental y social en San Cristóbal – Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2803-8716>.