

**Procesos de contaminación-purificación en aguas superficiales afectadas
por el vertimiento de efluentes de una tenería**

*Pollution-purification processes in surface waters affected by the discharge
of tannery effluents*

MSc. Adelmo Montalván-Estrada^{1*}

Dr.C. Yuri Aguilera-Corrales²

MSc. Osvaldo Brígido-Flores²

MSc. Eduardo Veitia-Rodríguez³

Lic. Lázaro Rodríguez-LaO³

¹ Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey.

² Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, Universidad de la Habana.

³ Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad de Camagüey.

*Autor para la correspondencia. correo electrónico: montalvan@ciac.cu

RESUMEN

Se hizo una evaluación del impacto de las aguas residuales vertidas por una tenería, que posee una huella hídrica gris de 5 194 m³/d, en la calidad del agua del cuerpo receptor. Se establecieron cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del curso de agua superficial y se tomaron muestras con una frecuencia semanal, por espacio de tres meses. Se pudo observar que aproximadamente en los primeros tres kilómetros del curso de agua ocurre una fuerte disminución de los valores para la gran mayoría de los

parámetros evaluados, lo cual se relaciona con el predominio de los procesos físicos de sedimentación. La comparación con los valores de referencia en cuerpos de agua poco contaminados, muestra que los procesos de autodepuración no pueden restablecer la calidad del agua que existía antes del vertimiento de los efluentes: hay un incremento de la salinidad y una disminución del oxígeno disuelto.

Palabras clave: tenería; contaminación; purificación; aguas superficiales.

ABSTRACT

It was made an evaluation of the impact of wastewaters discharged by a tannery, which has a gray water footprint of 5 194 m³/d, in the water quality of the receiving body. Four monitoring stations were established along the surface watercourse and samples were taken on a weekly basis, for three months. It was observed that approximately in the first three kilometers of the watercourse there is a strong decrease in the values for the great majority of the evaluated parameters, which is related to the predominance of the physical processes of sedimentation. The comparison with reference values in low-contaminated water bodies shows that the self-purification processes cannot restore the water quality that existed before the effluents were discharged: there is an increase in salinity and a decrease in dissolved oxygen.

Keywords: tannery; pollution; purification; surface waters.

Recibido: 17/1/2018

Aprobado: 29/10/2018

Introducción

La Estrategia Ambiental Nacional de Cuba para el período 2016-2020 ⁽¹⁾, identifica la contaminación y la carencia de agua dentro de los principales problemas ambientales. Según este documento, el estrés hídrico se relaciona con causas naturales y antrópicas, entre las que se destacan la contaminación, la inadecuada planificación y uso, las tecnologías inadecuadas.

En Cuba, el 82 % del agua se emplea con fines agrícolas, el 10 % con fines industriales, y el 8 % con fines domésticos.⁽²⁾ En el período 2011-2015 la extracción de agua para la industria pasó de 431 a 435 millones de m³, alcanzando un máximo de 644 millones de m³ en el año 2013.⁽³⁾ Al cierre del año 2016, el inventario nacional de fuentes contaminantes identificaba 2 160 fuentes puntuales de contaminación; de ellas el 26 % se vincula al sector industrial.⁽⁴⁾

Las corrientes de salida secundarias en los procesos industriales, entre las cuales se encuentran los residuales líquidos, constituyen una necesidad avalada por el segundo principio de la termodinámica, por lo que reducir a cero la cantidad de desechos es imposible ⁽⁵⁾; sin embargo, la ineficiencia de estos procesos provoca la generación de enormes cantidades de desechos que requieren de una gestión adecuada.

En Cuba es muy prometedor seguir una estrategia integrada que aproveche todas las oportunidades para la gestión de las aguas residuales. Díaz Betancourt ⁽⁶⁾ alertaba sobre la necesidad de esta estrategia: “si se considera como un sistema único el proceso tecnológico, el sistema de tratamiento y el vertimiento final, es posible llegar a soluciones más económicas y eficientes”.

En el plano nacional, se han realizado esfuerzos por adecuar la estrategia de gestión integrada a las relaciones industria-entorno.^(7,8) Sin embargo, persiste la tendencia a separar los procesos de gestión en la industria de aquellos relacionados con su entorno y no se gestiona la cadena del desecho en los procesos que transcurren fuera del espacio físico de la industria.

El conocimiento de los procesos de contaminación-purificación en los cuerpos receptores tiene tres consecuencias fundamentales: 1) es posible evaluar el impacto real de la contaminación en el medio ambiente; 2) se puede realizar una gestión

integrada, al incluir un importante eslabón de la cadena del desecho; 3) mayor eficiencia en el empleo de los recursos materiales y energéticos de la organización.

En las tenerías se consumen importantes cantidades de agua y se generan volúmenes significativos de residuales líquidos. A pesar de las importantes mejoras en los últimos años, la gestión del agua y aguas residuales en estas industrias constituyen procesos críticos desde el punto de vista económico y ambiental.⁽⁹⁾

Las aguas residuales generadas en los procesos de curtiembre de pieles se caracterizan por ser altamente contaminantes, debido a las elevadas concentraciones de productos químicos y otros residuos. Además, la discontinuidad del proceso productivo causa una gran variabilidad en el flujo y la composición de las aguas residuales.⁽¹⁰⁾

La tenería “Abel Santamaría” es una industria que está incluida en el inventario de fuentes contaminantes de la provincia de Camagüey. Con la finalidad de mejorar la gestión de las aguas residuales de esta tenería se han realizado diversos estudios teóricos y prácticos. Aunque existe mucha información disponible sobre las aguas residuales, que incluye alternativas de prevención y de tratamiento de la contaminación, en la actualidad la gestión ambientalmente sostenible de estos residuos sigue constituyendo un reto para esta organización industrial.^(7,11)

Los estudios disponibles han propuesto alternativas de producciones más limpias en esta industria; la contaminación por iones sulfuro y el excesivo consumo de agua en el proceso productivo se han definido como problemas estratégicos a resolver. Galindo *et al.* ⁽¹¹⁾ diseñaron dos alternativas basadas en técnicas de reciclaje interno y en la eliminación de iones sulfuro por oxidación catalítica. Sin embargo, estas alternativas no se han implementado en la práctica, debido a las limitaciones financieras y tecnológicas de la tenería.

El presente trabajo realiza una evaluación del impacto ambiental que provocan las aguas residuales vertidas por la tenería “Abel Santamaría” en la calidad del agua del cuerpo receptor.

Materiales y métodos

Descripción del proceso productivo de la tenería “Abel Santamaría”

La producción de la culata piquelada se realiza mediante un proceso productivo, cuyas etapas fundamentales son: remojo, pelambre, desencalado, piquelado y curtición (figura 1).

El objetivo de la etapa de remojo consiste en devolver a la piel su estado de hinchamiento natural y eliminar la suciedad, así como las sustancias proteicas solubles y los agentes de conservación. Las aguas residuales de esta etapa presentan un alto contenido de materia orgánica y una elevada salinidad.

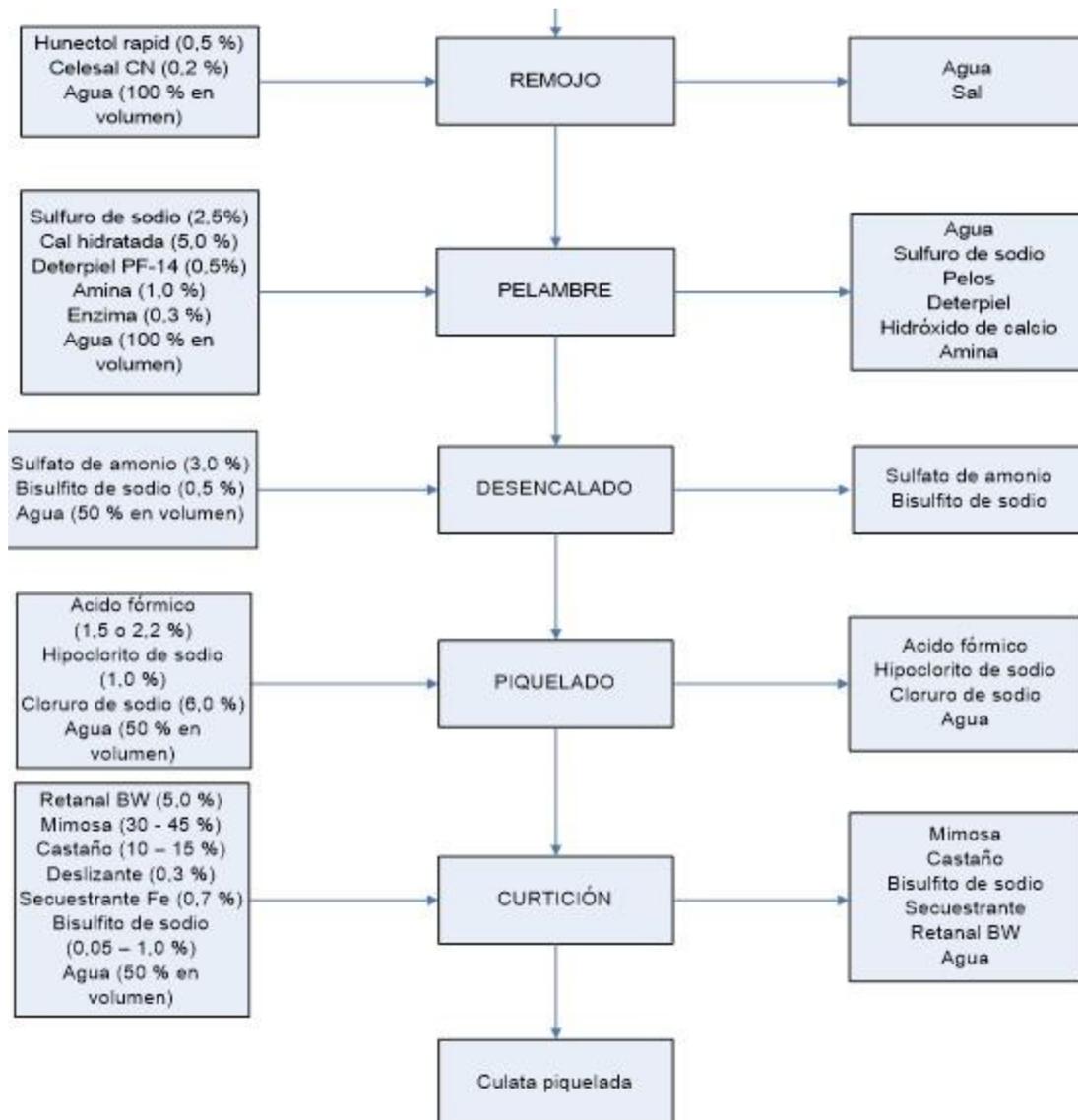


Fig.1 - Diagrama simplificado del proceso de producción de la culata piquelada

El proceso de pelambre tiene el objetivo fundamental de quitar el pelo y la epidermis de las pieles remojadas. La piel se pone en contacto con productos alcalinos (sulfuro de sodio, hidrato de cal, aminas) y otros productos auxiliares (tensoactivos, enzimas). Generalmente, las aguas residuales de la etapa de pelambre son las más contaminantes en una tenería, llegando a constituir más del 50 % de la DBO₅ total. El efluente se caracteriza por contener gran cantidad de proteínas, sulfuros y cal.

En la etapa de desencalado se elimina la cal procedente del baño de pelambre y se deshinchon las pieles. Parte de la cal es eliminada por el lavado con agua y luego por medio de sales amoniacales (sulfato de amonio o cloruro de amonio) o de sales ácidas (bisulfito de sodio).

La finalidad del piquelado es acidular, hasta un determinado pH, las pieles en tripa antes de la curtición. Se hace un tratamiento con cloruro de sodio y ácido fórmico para bajar el pH hasta 3. De esta forma se facilita que el curtiente penetre en la piel, en todo su corte transversal. Las aguas residuales de este proceso se caracterizan por un alto contenido en sales y una elevada acidez.

En la etapa de curtición la piel se convierte en cuero con ayuda de curtientes vegetales (mimosa y castaño). La curtición actúa reticulando las cadenas de colágenos de la piel, lo cual aumenta la resistencia a la temperatura, la putrefacción, y los agentes químicos. Las aguas residuales de esta etapa contienen una elevada cantidad de curtientes vegetales. Después de la curtición, las pieles se lavan para eliminar los restos de curtientes no fijados y se someten a procesos de neutralización, recurtición, tintura y engrase.

Los indicadores de contaminación, empleados en esta tenería como valores de referencia, muestran que las mayores cargas contaminantes se generan en las etapas de piquelado-curtición y pelambre (tabla 1).

Tabla 1 - Indicadores de contaminación de la tenería "Abel Santamaría"

Parámetro analizado	Unidad de medida	Etapas				Total Procesos
		Remojo	Pelambre	Des-encalado	Piquelado + curtición	
Sólidos totales	kg/T*	128	215	54	427	824
S.Sedimentables	L/T	20	567	239	373	1 199
Materialflotante	kg/T	2	34	34	96	165
DBO ₅	kg/T	27	102	6	192	327
DQO	kg/T	110	227	193	640	1 169
Cloruros	kg/T	71	66	1	87	225
Sulfuros	kg/T	0	3	0	0	3
Calcio	kg/T	0	16	0	0	16
Sulfatos	kg/T	0	0	25	38	64
Taninos	kg/T	0	0	0	133	133
Acido fórmico	kg/T	0	0	0	13	13
Fenoles	kg/T	0	0	0	37	37
IGAR**	m ³ /T	5,8	11,3	7,7	10,7	35,5

* Tonelada de cuero producido.

** Índice de generación de aguas residuales.

Muestreo

Se tomaron siete muestras de aguas residuales en el colector general de la tenería, antes de su vertimiento al cuerpo receptor de aguas superficiales.

Se establecieron cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del curso de agua superficial afectado por los vertimientos de la tenería y se tomaron muestras con una frecuencia semanal, por espacio de tres meses (figura 2).

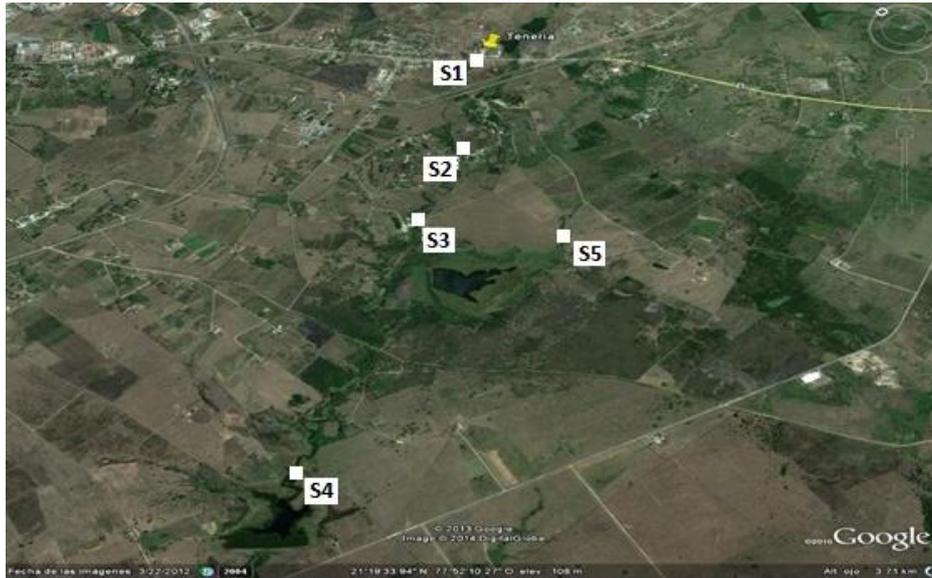


Fig.2 - Localización de las estaciones de monitoreo para la evaluación de los procesos de contaminación-purificación en el cuerpo receptor

Fuente del mapa: Google Earth

Las estaciones de monitoreo fueron las siguientes: S1 - Puente de Santayana; S2 - San Blas; S3 – Cochiquera; S4 - Entrada a la presa “La Peste”. Adicionalmente se estableció otra estación de monitoreo (S5) en un cuerpo de agua superficial no contaminado por los vertimientos de la tenería, con el objetivo de obtener valores de referencia de diferentes parámetros físico-químicos para las aguas superficiales en el área de estudio.

La selección de los puntos de muestreo se basó en los criterios de la representatividad del muestreo y la accesibilidad al sitio de muestreo, según la metodología establecida en las normas ISO 5667.⁽¹²⁾ Se realizó un muestreo compuesto, tanto de las aguas residuales como de las aguas superficiales; las condiciones de conservación y transportación estuvieron acordes a los requisitos del *Standard Methods*.⁽¹³⁾

Parámetros físico-químicos

Se realizaron mediciones *in situ* y en el laboratorio, tomando como referencia fundamental el *Standard Methods*.⁽¹³⁾ Las mediciones *in situ* se realizaron con ayuda de los siguientes equipos de la firma alemana WTW: el potenciómetro pH/ION inoLab

735, el conductímetro Cond 197i y el oxímetro Oxi 197i. La tabla 2 brinda una información resumida sobre los procedimientos analíticos empleados.

Tabla 2 - Procedimientos de análisis

Parámetro	Equipamiento utilizado	Referencias
Sólidos totales	Estufa WS200 (VEB MLW-Alemania) Balanza analítica PW184 (Adam Equipment - Reino Unido)	Sección 2540 B.[13]
Sólidos sedimentables	Cono de sedimentación	Sección 2540 F.[13]
Material flotante	Cono de sedimentación Estufa WS200 (VEB MLW-Alemania) Bomba de vacío AirCadet (Cole Parmer – EE.UU.) Balanza analítica PW184 (Adam Equipment –Reino Unido)	Sección 2530 B.[13]
Grasas y aceites	Balanza analítica PW184 (Adam Equipment –Reino Unido)	Sección 5520 B.[13]
pH	Medidor pH/ION inoLab pH/ION 735 (WTW-Alemania)	Sección 4500 pH Value B.[13]
Conductividad eléctrica	Conductímetro Cond 197i (WTW-Alemania)	Sección 2510 B.[13]
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno disuelto Oxi 197i (WTW-Alemania)	Sección 4500 O-G.[13]
Amoníaco	Potenciómetro pH/ION 735 (WTW-Alemania)	Sección 4500 NH ₃ -D.[13]
Sulfatos	Espectrofotómetro T70 (PG Instruments-Reino Unido)	Sección 4500-SO ₄ ²⁻ E.[13]
Fósforo total	Espectrofotómetro T70	Sección 4500-P: E.[13]

	(PGInstruments-Reino Unido)	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Sistema de incubación StableTemp (Cole Parmer – EE.UU.) Medidor de oxígeno disuelto Oxi 197i (WTW-Alemania)	Sección 5210 B.[13]
Demanda química de oxígeno (DQO)	Termoreactor CR3200 (WTW – Alemania) Espectrofotómetro T70 (PGInstruments-Reino Unido)	Sección 5220 D.[13]
Cloruros	Agitador magnético ST1 (Cole Parmer – EE.UU.)	Sección 4500 Chloride B.[13]

La determinación del índice de fenol se realizó por un método espectrofotométrico, según la norma "ASTM Standards, Standard Test Methods for Phenolic Compounds in Water, Designation: D 1783 – 01". Se empleó el espectrofotómetro UV-VIS Genesys 10S (Thermo Scientific – EE.UU).

Evaluación del cumplimiento de la NC 27:2012

Se compararon los valores de los parámetros obtenidos para las aguas residuales en el colector general de la tenería con los establecidos en la Norma NC 27:2012 "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones".⁽¹⁴⁾ Se consideró que las aguas residuales se vierten a un cuerpo receptor de clase B.

Evaluación de la huella hídrica gris

La huella hídrica gris es un indicador de contaminación que expresa la cantidad de agua dulce que se necesita para diluir la contaminación hasta los valores aceptados en las normativas ambientales. La huella hídrica gris se determinó según la ecuación (1), tomando como base la metodología propuesta por Hoekstra *et al.*⁽¹⁵⁾

$$HHG = CC / (C_{max} - C_{amb}) \quad (1)$$

donde:

HHG – Huella hídrica gris ($m^3/día$).

CC – Carga contaminante ($kg/día$).

C_{max} – Concentración máxima admisible en el cuerpo receptor (kg/m^3).

C_{amb} – Concentración ambiental (kg/m^3).

Evaluación de las capacidades autopurificadoras del cuerpo receptor

Para la evaluación de las capacidades autopurificadoras se empleó el Índice de Capacidad Autopurificadora (ICA), cuya metodología de cálculo se basó en los trabajos sobre autodepuración de corrientes de aguas superficiales, desarrollados por Heidenwag y Lüderitz.⁽¹⁶⁾

Para el cálculo del ICA se consideraron los siguientes parámetros: calidad hidrogeomorfológica; grado de variabilidad; grado de saturación del caudal; grado de saturación del oxígeno disuelto; biodiversidad-estructura específica. La evaluación del ICA se realizó con el software ICASUPER, desarrollado en el Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey.

Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico, tanto descriptivo como inferencial, se realizó con ayuda de los paquetes estadísticos StatGraphics Centurion XVII y Origin Pro 8.5. Se describieron los datos a través de las medidas de tendencia central y la desviación estándar. Se evaluó la correlación entre variables con ayuda del coeficiente r .

Resultados y discusión

Proceso de contaminación de las aguas superficiales

Evaluación del cumplimiento de la NC 27:2012

En la tabla 3 se comparan los valores medios obtenidos para los parámetros físico-químicos estudiados en las aguas residuales provenientes del colector general de la tenería, con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NC 27:2012.

Tabla 3 - Valores de parámetros para las aguas residuales en el colector general de la tenería

Parámetro analizado	Unidad de medida	Valor \pm SD	LMPP
Sólidos sedimentables	mL/L	1,2 \pm 0,1	2
Material flotante	mg/L	480 \pm 60	Ausente
Grasas y aceites	mg/L	130 \pm 30	10
pH	U	9,0 \pm 0,1	6-9
Conductividad eléctrica	μ S/cm	5 400 \pm 200	2 000
Fósforo total	mg/L	1,6 \pm 0,1	4
DBO ₅	mg/L	6 200 \pm 700	40
DQO	mg/L	34 000 \pm 4 000	90

Leyenda: LMPP-límite máximo permisible promedio.

Una vez analizados los resultados obtenidos, se observa que para los sólidos sedimentables, el fósforo total y el pH, los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma cubana. Por otro lado, vale resaltar que en el caso de las grasas y aceites las concentraciones obtenidas superan 13 veces el límite máximo permisible y la DBO₅ y la DQO los superan en 155 y 380 veces, respectivamente.

Aunque en el proceso tecnológico de la tenería hay una etapa destinada a la separación del tejido adiposo de la piel, siempre en el proceso quedan restos del mismo que posteriormente se remueven en las etapas de pelambre y desencalado y se

incorporan a las aguas residuales, pudiendo ser esta la causa de los elevados valores de grasas y aceites; lo que también se refleja en los altos valores de DBO₅ y DQO.

Adicionalmente, algunos de los productos químicos empleados con propiedades reductoras (iones sulfuro, taninos y sus derivados) que se utilizan en el proceso productivo también influyen en los valores altos de la DQO. Los resultados obtenidos se corresponden con los esperados para las aguas residuales de una tenería.^(17,18)

Evaluación de la huella hídrica gris

Debido a que la DBO₅ es un parámetro fundamental para caracterizar a las aguas residuales de una tenería, la huella hídrica gris se expresa para este parámetro en específico.

La evaluación de la carga contaminante (expresada para la DBO₅) se realiza a partir de los resultados de la caracterización de aguas residuales en el colector general de la tenería. El caudal de aguas residuales se tomó de las mediciones periódicas que se realizan en la industria y que brindan una media de 26 m³/d. La tabla 4 muestra los resultados de la evaluación.

Tabla 4 - Huella hídrica gris de la tenería “Abel Santamaría”

CC DBO ₅ (kg/día)	C _{máx} (kg/m ³)	C _{amb} (kg/m ³)	HHG (m ³ /día)
161	0,04	0,009	5194

La actividad industrial de la tenería afecta la disponibilidad de los recursos hídricos. Esta afectación incluye el consumo de agua dulce y también la contaminación del agua en el cuerpo receptor, ya que se necesitan 5 194 m³/d para diluir la concentración de contaminantes hasta los niveles aceptados.

Proceso de purificación de las aguas superficiales

Evaluación de las capacidades autopurificadoras del cuerpo receptor

La evaluación muestra que las capacidades autopurificadoras del cuerpo receptor, en todas las estaciones de monitoreo, son muy críticas. Los principales factores que influyen en este resultado son los siguientes: bajo caudal de aguas superficiales; profundas modificaciones del cauce y las márgenes del arroyo, debido a la actividad económica y los asentamientos poblacionales; y la presencia de diversas fuentes puntuales y difusas de contaminación.

Las fuentes puntuales de contaminación más relevantes son la tenería “Abel Santamaría” y un pequeño asentamiento poblacional aledaño a la industria. Las fuentes difusas de contaminación se vinculan a la actividad agropecuaria que se desarrolla en la zona (agricultura, pastoreo extensivo).

Calidad del agua del cuerpo receptor

Los resultados de laboratorio y el tratamiento estadístico de los mismos evidencian que existen diferencias significativas en la composición del agua del cuerpo receptor, en las estaciones de muestreo establecidas (tabla 5).

Tabla 5 - Calidad del agua en las estaciones de monitoreo

Parámetro analizado	Unidad de medida	Estación de monitoreo				
		S1	S2	S3	S4	LMPP
S.Sedimentables	mL/L	2,8 ± 0,6	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	2
pH	U	8,3 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,7 ± 0,1	6 - 9
Conductividad	µS/cm	12 900 ± 500	1 240 ± 50	1 240 ± 50	1 270 ± 50	2 000
Oxígeno disuelto	mg/L	<LC;LC=1,0	3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,3	3,8 ± 0,3	3
N-NH ₃	mg/L	2,32 ± 0,09	0,32 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,31 ± 0,01	---
Sulfatos	mg/L	150 ± 40	60 ± 10	43 ± 9	39 ± 9	---
Cloruros	mg/L	400 ± 20	146 ± 6	135 ± 6	135 ± 6	---
Índice de fenol	mg/L	0,27 ± 0,03	<LC;LC=0,07	<LC;LC=0,07	<LC;LC=0,07	---

Leyenda: LC – límite de cuantificación; LMPP-límite máximo permisible promedio para un cuerpo receptor de categoría B (NC 27:2012).

La rápida disminución del índice de fenol es muy importante, ya que los compuestos fenólicos son muy tóxicos y tienden a oxidarse con gran facilidad, consumiendo el oxígeno disuelto en el agua y provocando la muerte de los organismos acuáticos aeróbicos.^(19,20) Aunque el índice de fenol no supera el límite de cuantificación, esto no es suficiente para la recuperación de los niveles de saturación del oxígeno disuelto en el cuerpo receptor, debido a la influencia de otros factores.

Se puede observar que aproximadamente en los primeros tres kilómetros del curso de agua, entre las estaciones S1 y S2, ocurre una brusca disminución de los valores para la gran mayoría de los parámetros evaluados (figuras 3 y 4).

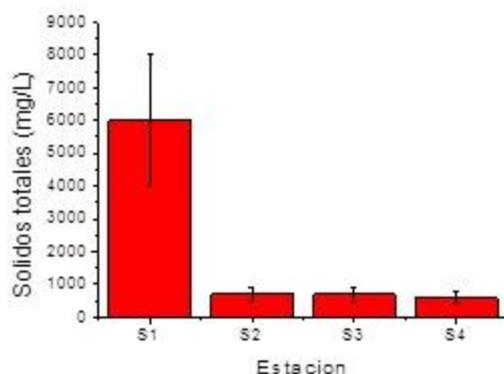


Fig. 3 - Variación de la concentración de sólidos totales en las estaciones de monitoreo

Existe una correlación positiva muy fuerte ($r = 0,9999$) entre la concentración de sólidos y parámetros, tales como: la DBO_5 y la DQO; lo cual refleja la importancia de los procesos físicos de sedimentación en la reducción de la contaminación.

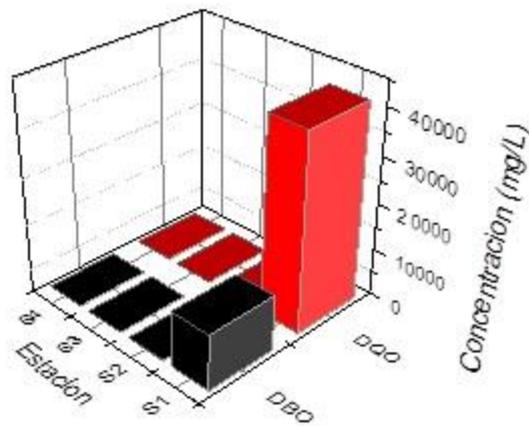


Fig. 4 - Variación de la DBO₅ y la DQO en las estaciones de monitoreo

En el resto del trayecto evaluado la calidad del agua no se modifica significativamente, lo cual indica que los procesos químicos y biológicos tienen una importancia secundaria. Sin embargo, la disminución de la contaminación que ocurre en los tres primeros kilómetros del curso de agua superficial es suficiente para reducir los valores de parámetros significativos, tales como: la DBO₅, la DQO y la conductividad eléctrica, por debajo de los límites máximos permisibles promedio establecidos en la NC 27:2012.

La intensidad de los procesos físicos de sedimentación en los primeros tres kilómetros del cuerpo receptor facilita una importante recuperación de la calidad del agua en los tramos posteriores, que se refleja en el aumento de las concentraciones de oxígeno disuelto.

Sin embargo, los procesos de autodepuración que ocurren en el cuerpo receptor de las aguas residuales de la tenería no pueden restablecer la calidad del agua al nivel característico para los cursos de aguas superficiales poco contaminados, presentes en el área de estudio (tabla 6).

El impacto de la contaminación en la calidad del agua del cuerpo receptor se observa en la elevación de la conductividad eléctrica en cerca de tres veces, como resultado del incremento de los sólidos totales. La contaminación orgánica se logra reducir hasta

casi los valores de referencia, pero el oxígeno disuelto no alcanza la mitad del valor de saturación.

Tabla 6 - Calidad del agua en el cuerpo receptor y en un sitio de referencia

Parámetro analizado	Unidad de medida	Cuerpo receptor (Estación S4)	Referencia (Estación S5)	LMPP
Sólidos totales	mg/L	600 ± 200	260 ± 60	---
pH	U	7,7 ± 0,1	7,8 ± 0,1	6 - 9
Conductividad eléctrica	µS/cm	1270 ± 50	440 ± 20	2 000
Oxígeno disuelto	mg/L	3,8 ± 0,3	7,6 ± 0,7	3
DBO ₅	mg/L	14 ± 2	10 ± 1	40
DQO	mg/L	20 ± 2	20 ± 2	90
Sulfatos	mg/L	39 ± 9	6 ± 1	---
Cloruros	mg/L	135 ± 6	30 ± 1	---
Índice de fenol	mg/L	<LC;LC=0,07	<LC;LC=0,07	---

Leyenda: LC – límite de cuantificación; LMPP – límite máximo permisible promedio para un cuerpo receptor de categoría B (NC 27:2012).

Es de interés el comportamiento del índice de fenol, ya que se logran recuperar los valores de referencia, lo cual indica que el cuerpo receptor tiene mecanismos efectivos de eliminación de los mismos.

Conclusiones

Se evalúa el impacto de las aguas residuales vertidas por la tenería “Abel Santamaría” en la calidad del agua del cuerpo receptor. Esta tenería incumple la NC 27:2012; los parámetros más críticos son: las grasas y aceites, la DBO₅ y la DQO. El proceso de contaminación se caracteriza por generar una alta carga contaminante, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica. Se establece un valor de referencia para la huella

hídrica gris de 5 194 m³/d. Los procesos físicos de sedimentación reducen significativamente la presencia de sólidos y contribuyen a la disminución de los valores para la gran mayoría de los parámetros evaluados; sin embargo, los procesos de purificación no pueden restablecer la calidad del agua que existía antes de la contaminación. El impacto de la contaminación se refleja en parámetros, tales como: sólidos totales, conductividad eléctrica, y oxígeno disuelto. El conocimiento del impacto de la contaminación, debido al vertimiento de aguas residuales, permite incorporar este eslabón de la cadena del desecho en una estrategia de gestión integrada de las aguas residuales en la industria, y aprovechar mejor las oportunidades de prevención y tratamiento.

Referencias bibliográficas

1. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020. Editorial GEO, La Habana, 2016.
2. WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAM). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. UNESCO: Paris, and Earthscan: London, 2009. ISBN 978-9-23104-095-5.
3. OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Panorama ambiental. Cuba 2015. [Disponible en: www.one.cu]. [Consultado el: 9 de febrero de 2017].
4. CIGEA. Inventario nacional de fuentes contaminantes. [Disponible en: www.redciencia.cu/misionambiental/carga.htm]. [Consultado el: 20 de enero de 2017].
5. BAUMGÄRTNER, S.; SWAAN ARONS, J. "Necessity and Inefficiency in the Generation of Waste". *Journal of Industrial Ecology*. 2003, **7** (2), 113-123. ISSN 1530-9290.
6. DÍAZ BETANCOURT, R. *Tratamiento de aguas y aguas residuales*. La Habana: Editorial Félix Varela, 2010. ISBN 978-959-07-1027-5.
7. GALINDO LLANES, P. El análisis de procesos en la búsqueda de tecnologías más limpias, Tesis Doctoral, Universidad de Camagüey, Camagüey, 2008.

8. BETANCOURT, C.; LABAUT, Y.; BONACHEA, M. "Propuestas para el tratamiento de los residuales líquidos generados en la fabricación de aceites en la refinería Sergio Soto". *Rev. Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo*. 2011, **21**. ISSN: 1683-8904. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/21.08.pdf>. Consultado el: 20 de enero del 2017
9. GALIANA, V. Estudio experimental de minimización de la contaminación de efluentes de la industria de curtidos aplicando reutilización de baños residuales y tratamientos con procesos de membrana y biológicos, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2010. [Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8954/tesisUPV3377.pdf>]. [Consultado el: 20 de enero de 2017].
10. CPML. Manual de buenas prácticas ambientales para el sector MIPYME – Tenerías. Managua, Nicaragua, 2008. [Disponible en: <https://es.scribd.com/document/1798517541/>]. [Consultado el: 24 de enero de 2017].
11. GALINDO, P.; RIZO, M.; OQUENDO, H.; GONZÁLEZ, E.; PÉREZ, A. "Estrategia para la generación de alternativas de producción más limpias en la industria de Tenerife". *Tecnología Química*. 2009, **Edición especial**, 14-21. ISSN 2224-6185.
12. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. ISO 5667-1, 2006. 31p
13. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the examination of water and waste water. 23-rd Edition. New York, 2017. ISBN 9780875532875.
14. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones (NC 27:2012). La Habana, 2012.
15. HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Water Footprint Network, Earthscan, London, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.
16. HEIDENWAG, I.; LANGHEINRICH, U.; LÜDERITZ, V. "Self-purification in upland and lowland streams". *Acta Hydrochim.hydrobiol.* 2001, **29** (1), 22-33. ISSN: 0323-4320.

17. HEIDARZADEH, A.; SHIN, S.; TRIOLO, J. "Use of tannery wastewater as an alternative substrate and a pre-treatment medium for biogas production". *Bioresource Technology*. 2018, **258**, 64-69. ISSN: 0960-8524.
18. GIACCHERINI, F.; MUNZ, G.; DOCKHORN, T.; LUBELLO, C.; ROSSO, D. "Carbon and energy footprint analysis of tannery wastewater treatment: A Global overview". *Water Resources and Industry*. 2017, **17**, 43-52. ISSN: 2212-3717.
19. MARTINKOVÁ, L.; KOTIK, M.; MARKOVÁ, E.; HOMOLKA, L. "Biodegradation of phenolic compounds by *Basidiomycota* and its phenol oxidases: A review". *Chemosphere*. 2016, **149**, 373-382. ISSN: 0045-6535.
20. IPEK, I.; KABAY, N.; YÜKSEL, M. "Separation of bisphenol A and phenol from water by polymer adsorbents: Equilibrium and kinetics studies". *Journal of Water Process Engineering*. 2017, **16**, 206-211. ISSN: 2214-7144.