



# **Title:** Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de la curtiduría mediante un sistema biológico aerobio fijo empleando como soporte polietileno de alta densidad

**Author:** Xochitl Vanessa, ROJAS-LEYVA, José Alberto, RODRÍGUEZ-MORALES, Marina, VEGA-GONZÁLEZ, Juan, CAMPOS-GUILLÉN

**Editorial label ECORFAN:** 607-8534  
**BCIERMMI Control Number:** 2018-03  
**BCIERMMI Classification (2018):** 251018-0301

**Pages:** 33  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

## **ECORFAN-México, S.C.**

244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 | 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

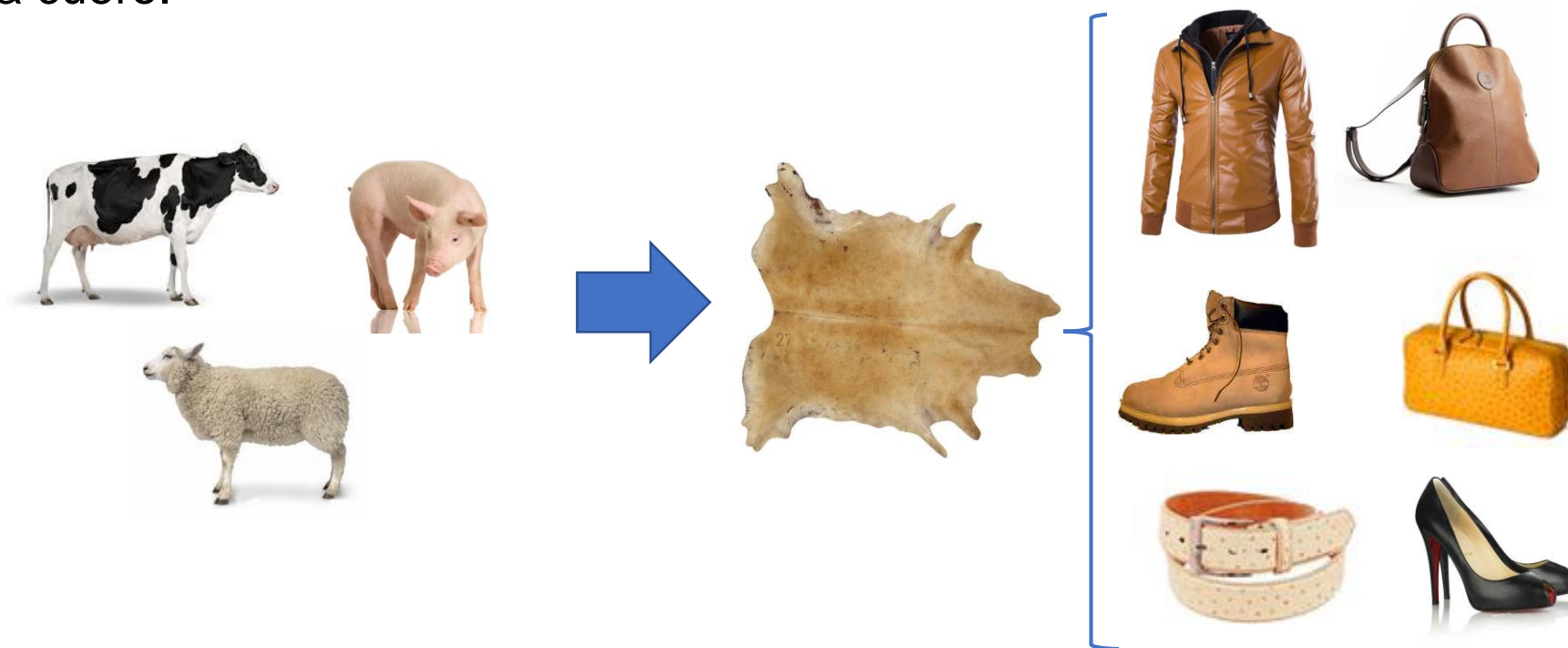
## **Holdings**

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

# Introducción

## Industria de la curtiduría

El proceso de curtido consiste en transformar las pieles de los animales a cuero.



(ATSDR, 2012)



## Proceso de curtido



### Aguas Residuales

- Materia orgánica
- Salinidad (NaCl)
- Sulfuros
- Cloruros
- Amoniaco
- Cromo
- Microorganismos patógenos

### Residuos sólidos

- Proteínas
- Grasas
- Pelambre

### Otros

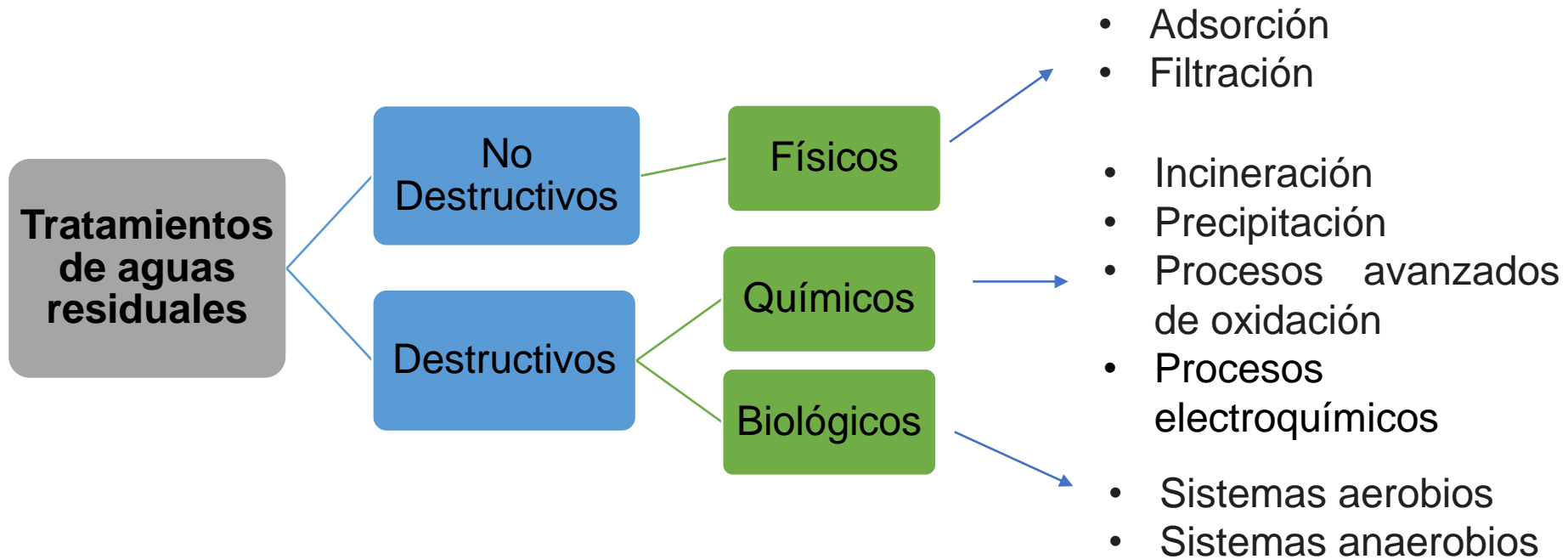
- Sangre
- Estiércol
- Polvo
- Desechos de descarte

La mayor parte de estos aparecen listados como residuos peligrosos, en la NOM-052-SEMARNAT-1993

(Álvarez-Castañón, 2014; Nacheva y col., 2004)



Norma			LMP (mgL <sup>-1</sup> )
NOM-127-SSA1-1994	Cr Total	Agua potable	0.05
NOM-001-SEMARNAT-1996	Cr Total	Efluente	0.5 - 1
NOM-002-SEMARNAT-1996	Cr <sup>6+</sup>	Efluente	0.5
NOM-052-SEMARNAT-2005	Cr <sup>6+</sup>	Lixiviado	5





# Sistemas Biológicos Aerobios

En el tratamiento del agua residual, esta se somete a aireación, provocando la formación de lodo y la clarificación del agua mediante la descomposición de los compuestos orgánicos.

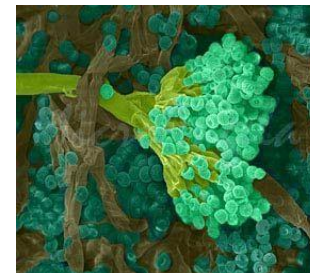
Los lodos se definen como una masa activada de microorganismos, formada por una población heterogénea, que cambian continuamente en función de ciertas variaciones.



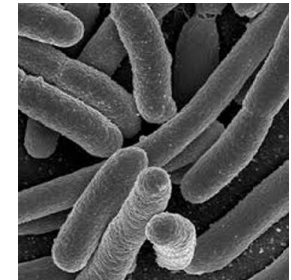
Bacterias



Rotíferos



Hongos



Protozoos

(Ramalho, 2003)



# Tratamiento de aguas por medio de biopelícula.

La biopelícula, es una estructura compleja con canales de agua y aireación, para el transporte de nutrientes, desechos, oxígeno y agua, esta se puede formar en superficies vivas o no vivas.

**Medios de soporte para la formación de biopelícula.** Los tratamientos por biopelícula soportada, tanto en sistemas fijos como móviles, utilizan medios plásticos inertes que provean alta superficie específica para cargar la biomasa que trata el agua que favorezca la adhesión de los microorganismos y la formación de la biopelícula.



Carrasco y Moral, 2015

# Tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiduría

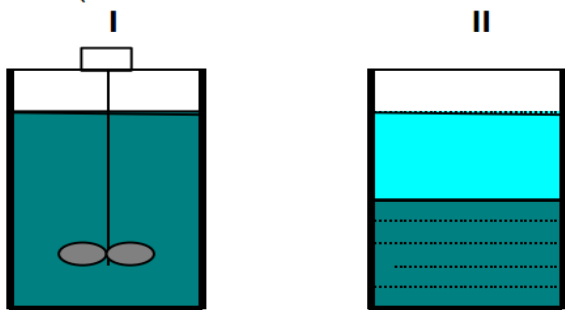
Neutralización de pH

Precipitación de  $\text{Cr}^{3+}$  a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$

Sedimentación y separación del metal

Remoción de Cr 99.7 % y remueve 50 % de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

REMOCIÓN DEL CROMO  
(PRECIPITACIÓN Y SEDIMENTACIÓN)



## Sistemas biológicos en la remoción de Cr

En aguas con concentraciones de  $60 \text{ mgL}^{-1}$  de Cr total, los sistemas anaerobios y aerobios de lodos activados muestran remociones del 50% al 60 % de Cr total.

Tiempo de mezcla rápida de 10 min.  
Tiempo de mezcla lenta de 30 min.  
Tiempo de sedimentación de 24-50 horas.

(Melita y Popescu, 2008)





# OBJETIVO

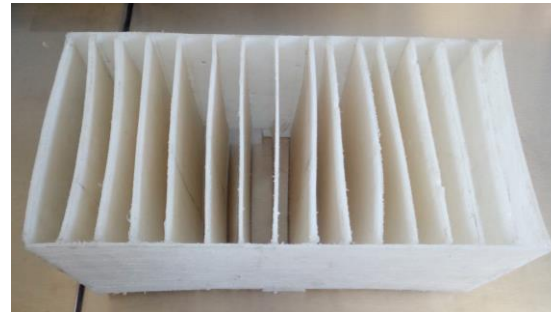
El presente trabajo tiene como fin la aplicación de un sistema biológico fijo empleando como medio de soporte Polietileno de alta densidad (PEAD) para el tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiduría.

# METODOLOGÍA

## Desarrollo del proceso biológico aerobio fijo (PBAF)

### Desarrollo del medio de soporte de PEAD

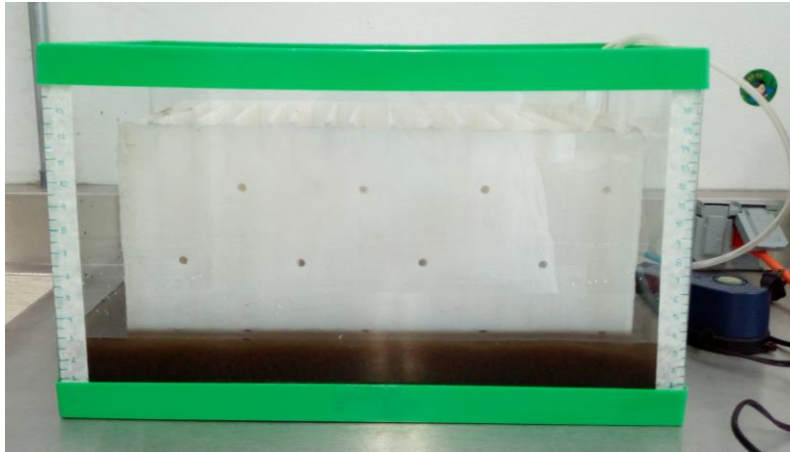
Polietileno de Alta Densidad (PEAD) lijado con divisiones horizontales y perforaciones de 5 mm



Superficies de contacto del medio de soporte			
No. Piezas	Dimensiones (cm)	Superficie de contacto (cm <sup>2</sup> ) (interior y exterior)	Superficie total de contacto (cm <sup>2</sup> )
2	34x16	1088	2176
16	16x16	512	8192
		Total	10368

Área de contacto superficial = 10368 cm<sup>2</sup> – 184.569 cm<sup>2</sup> = **10183.431 cm<sup>2</sup>**

## Desarrollo del proceso biológico aerobio fijo (PBAF)



Se usó un reactor de 16 L donde se colocaron 3 L de lodo, los cuales se alimentaron de agua residual durante dos meses.

El suministro de O<sub>2</sub> se realizó mediante una bomba conectada con dos mangueras de 90 cm y estas a dos difusores de 75 cm.





## Evaluación del agua doméstica tratada

- Se realizó una cinética tomando muestras por triplicado al afluente y efluentes cada 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 24 h.
- En el afluente y efluente se analizó: pH, Turbidez, color y DQO usando un colorímetro marca HANNA DR-890.



## Determinación de biomasa adherida

Se tomaron muestras de la biopelícula adherida al soporte y del lodo en suspensión y se observó su estructura en un microscopio óptico

### Determinación Superficie específica (Se)

$$Se = \frac{Ac}{V}$$

Donde,

$Ac$  = área de contacto (1.018 m<sup>2</sup>)

$V$  = volumen útil del reactor (0.016 m<sup>3</sup>)

### Determinación Sólidos Totales Volátiles (STVi) en el lodo

Se tomaron tres muestras de diferentes zonas del soporte de PEAD y se raspo el lodo adherido en 1 cm<sup>2</sup>



# Desarrollo de la relación óptima Agua Residual Doméstica – Agua Residual de Curtiduría

## Caracterización del agua residual de curtiduría.

El agua residual problema que se empleó en los experimentos del presente proyecto se obtuvo de una curtiduría ubicada en ciudad de León, Gto. Los análisis para su caracterización se realizaron en el Centro de Servicios Químicos, laboratorio certificado.

## Evaluación de la biodegradabilidad del agua de curtiduría.

$$\text{Biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Donde:

DBO<sub>5</sub>, Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días

DQO, Demanda química de oxígeno



## Caracterización del agua residual de curtiduría.

Parámetro	Método
Cr Total	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cr <sup>6+</sup>	NMX-AA-044-SCFI-2014
Hg	NMX-AA-051-SCFI-2016
Fe	NMX-AA-051-SCFI-2016
Zn	NMX-AA-051-SCFI-2016
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030/2-SCFI-2011
Grasas y Aceites	NMX-AA-005-SCFI-2000
Sólidos Sedimentables (SS)	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2015
Nitrógeno Total (NT)	NMX-AA-026-SCFI-2010
Sulfuros	SM 4500E 1992
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto (OD)	NMX-AA-012-SCFI-2001
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000
Turbidez	NMX-AA-038-SCFI-2001
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001



## Desarrollo de la relación óptima Agua Residual Doméstica – Agua Residual de Curtiduría

**Exposición y adaptación de los microorganismos al agua residual de curtiduría.** El agua residual de curtiduría se dejó sedimentar por 24 h y se analizó antes y después. Posteriormente una vez sedimentada se mezcló con el agua residual doméstica en un bidón de 20 L hasta homogenizar, los pH se mantuvieron alcalinos para todas las relaciones en un rango de 8 a 8.9.

Relación	Agua residual de curtiduría	Agua residual doméstica
1	20 %	80 %
2	23 %	77 %
3	30 %	70 %
4	40 %	60 %
5	50 %	50 %

Cada relación se mantuvo por dos semana, se tomaron muestras cada 24 h antes y después del PBAF y se analizó DQO, Color, Turbidez y pH.





## Cinética de remoción de Cr y DQO por el sistema por el PBAF

- Una vez establecida la relación óptima en el PBAF se evaluó la remoción de la DQO y Cr en el sistema, para verificar la remoción de la DQO en 24 h, se tomaron muestras del afluente y de los efluentes cada dos horas hasta llegar a las 12 h y posteriormente a las 24 h, en el caso de la cinética para Cr las muestras fueron tomadas cada 4 h hasta las 12 h y finalmente a las 24 h del tratamiento biológico.

Para analizar la concentración de Cr en el agua se empleó un método colorimétrico y el porcentaje de remoción del metal de determino por:

$$\%R = \left( \frac{[Cr]t_0 - [Cr]t}{[Cr]t_0} \right) (100)$$

Donde,

%R = Porcentaje de remoción de Cr

[Cr]t<sub>0</sub> = Concentración de Cr inicial

[Cr]t = Concentración de Cr final después del tratamiento PBA

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Evaluación del PBAF y desarrollo de la biopelícula en el medio de soporte PEAD



Figura A. Formación de la biopelícula en el medio de soporte de PEAD.

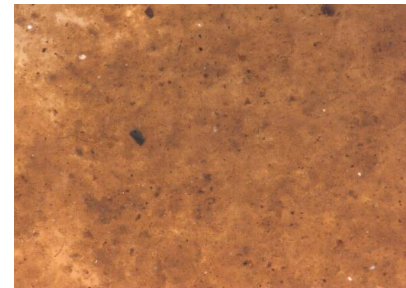
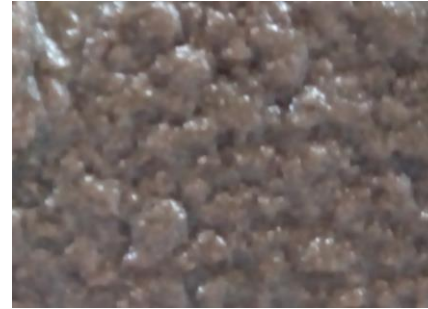
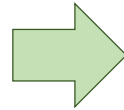


Figura B. Biopelícula observada en microscopio óptico

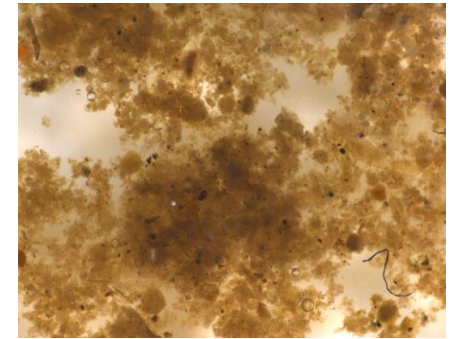


Figura C. Lodo en suspensión observado en microscopio óptico



## Determinación de biomasa adherida

- Se obtuvo una  $Se$  de **63.65 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>** del medio de soporte PEAD, la cual se considera eficiente ya que se encuentra dentro del rango (30-900 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) (Díaz-Rodríguez y col., 2016). Para los STVi se obtuvo **0.024 g/cm<sup>2</sup> ±0.002** lo que equivale aproximadamente a **240 g/m<sup>2</sup>**.
- Comparando con otros medios de soporte hechos de PET (Polietileno Tereftalato) y PP (Polipropileno) la  $Se$  obtenida fue de 654.62 y 882.5 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> respectivamente, así mismo estos materiales presentan 1.023 g/m<sup>2</sup> para el PET y 1.34 g/m<sup>2</sup> para el PP de biomasa medida como STVi (Romero y Lapo, 2014).



## Evaluación del efluente tratado por el PBAF

Tiempo (h)	Turbidez (UNT)	% Remoción	Color (Pt-Co)	% Remoción	DQO (mgL <sup>-1</sup> )	% Remoción
<b>0</b>	258 ± 1.528		550 ± 0.00		447 ± 2.65	
<b>2</b>	138 ± 1.528	46.5	547 ± 1.53	0.5	320 ± 4.00	28.4
<b>4</b>	120 ± 1.528	53.5	426 ± 1.53	22.5	260 ± 1.00	41.8
<b>6</b>	79 ± 1.528	69.4	416 ± 2.00	24.4	157 ± 1.00	64.9
<b>8</b>	48 ± 2.082	81.4	293 ± 1.73	46.7	156 ± 0.58	65.1
<b>10</b>	22 ± 1.528	91.5	134 ± 1.53	75.6	144 ± 2.08	67.8
<b>12</b>	16 ± 1.000	93.8	124 ± 1.53	77.5	124 ± 1.15	72.3
<b>24</b>	13 ± 0.577	95.0	119 ± 1.53	78.4	81 ± 0.58	81.9

El pH disminuyó de 8.5 a 6.6.

La norma PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 establece como LMP 150 mgL<sup>-1</sup> de DQO



## Caracterización del agua residual de curtiduría.

Parámetro	Resultado (mgL <sup>-1</sup> )	Norma	LMP (mgL <sup>-1</sup> )
Cr Total	12.869	PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017	1
Hg	< 0.002		0.01
Zn	< 0.030		10
Cr <sup>6+</sup>	< 0.100	NOM-002-SEMARNAT-1996	0.5
Fe	0.329	----	----
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5536.9	PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	2682	NOM-003-SEMARNAT-1997	30
Grasas y Aceites	14.5		15
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	48		30
Sólidos Sedimentables (SS)	< 0.5	-----	-----
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	12020	-----	-----
Nitrógeno Total (NT)	754	PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017	25
Sulfuros	31.36	-----	
Cloruros	5612.1		
Conductividad eléctrica (CE)	24060 µs	-----	-----
pH	6.9	-----	-----



## Biodegradabilidad del agua residual de curtiduría

A partir de los valores de DQO y DBO5 se determinó la biodegradabilidad del agua por la relación de éstos, de acuerdo a la siguiente Ec. (Chong y col., 2010), de acuerdo al valor obtenido se considera un agua de carácter poco biodegradable.

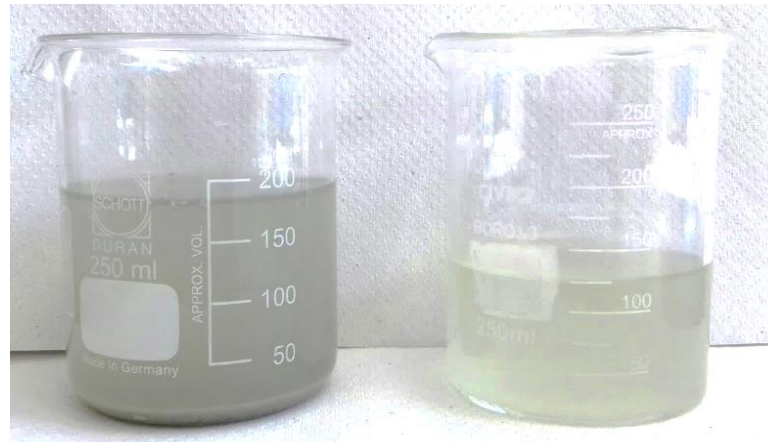
$$\frac{DBO}{DQO} = \left( \frac{2682}{5536.9} \right) = 0.4843$$

DBO <sub>5</sub> /DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 – 0.8	Biodegradable
0.3 – 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

## Pretratamiento de Sedimentación

La sedimentación del agua residual de curtiduría permitió la disminución de sólidos.

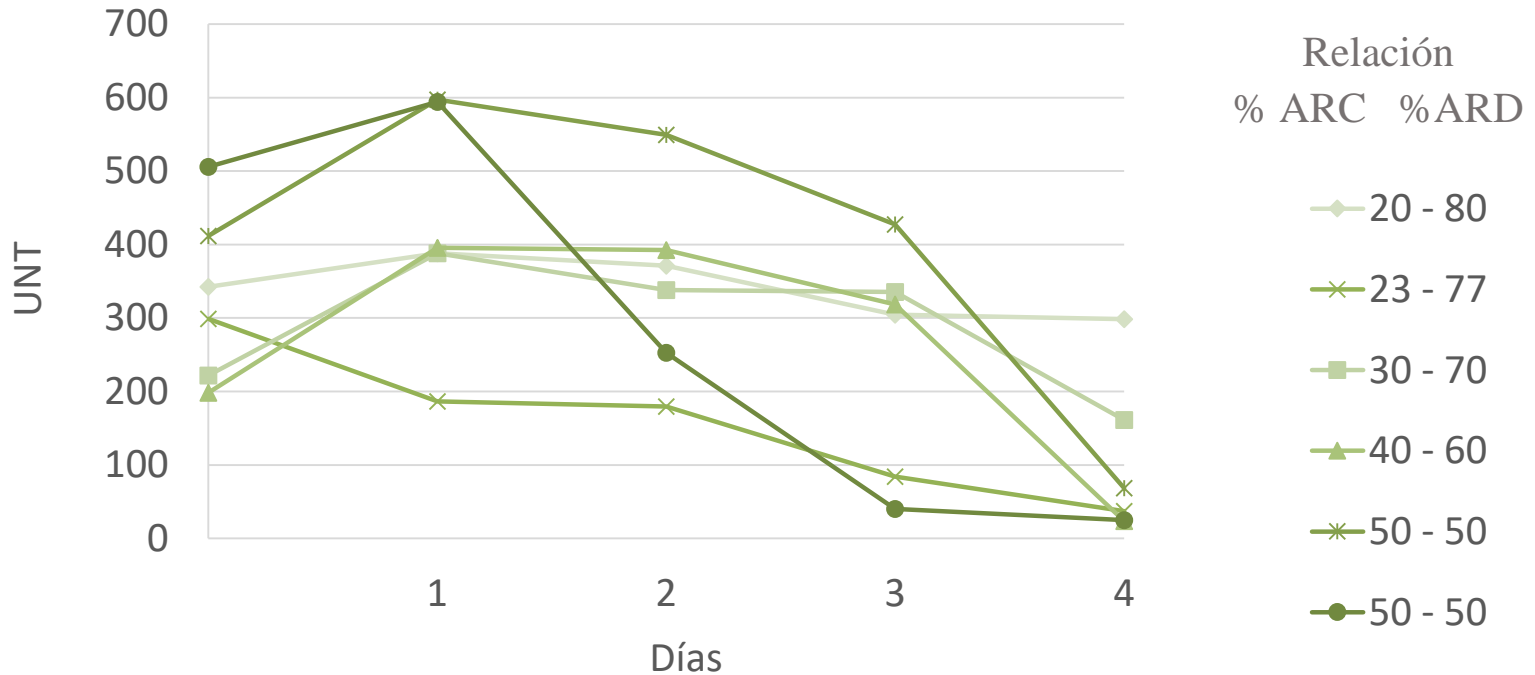
Parámetro	Agua curtiduría sin sedimentar	Agua curtiduría sedimentada	% Remoción
Turbidez (UNT)	315	160	49.21
Color (Pt-Co)	6367	5733	9.96
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	7467	6800	8.93
pH	6.9	7	





# Desarrollo de la relación óptima Agua Residual Doméstica – Agua Residual de Curtiduría

## Evaluación de la Turbidez

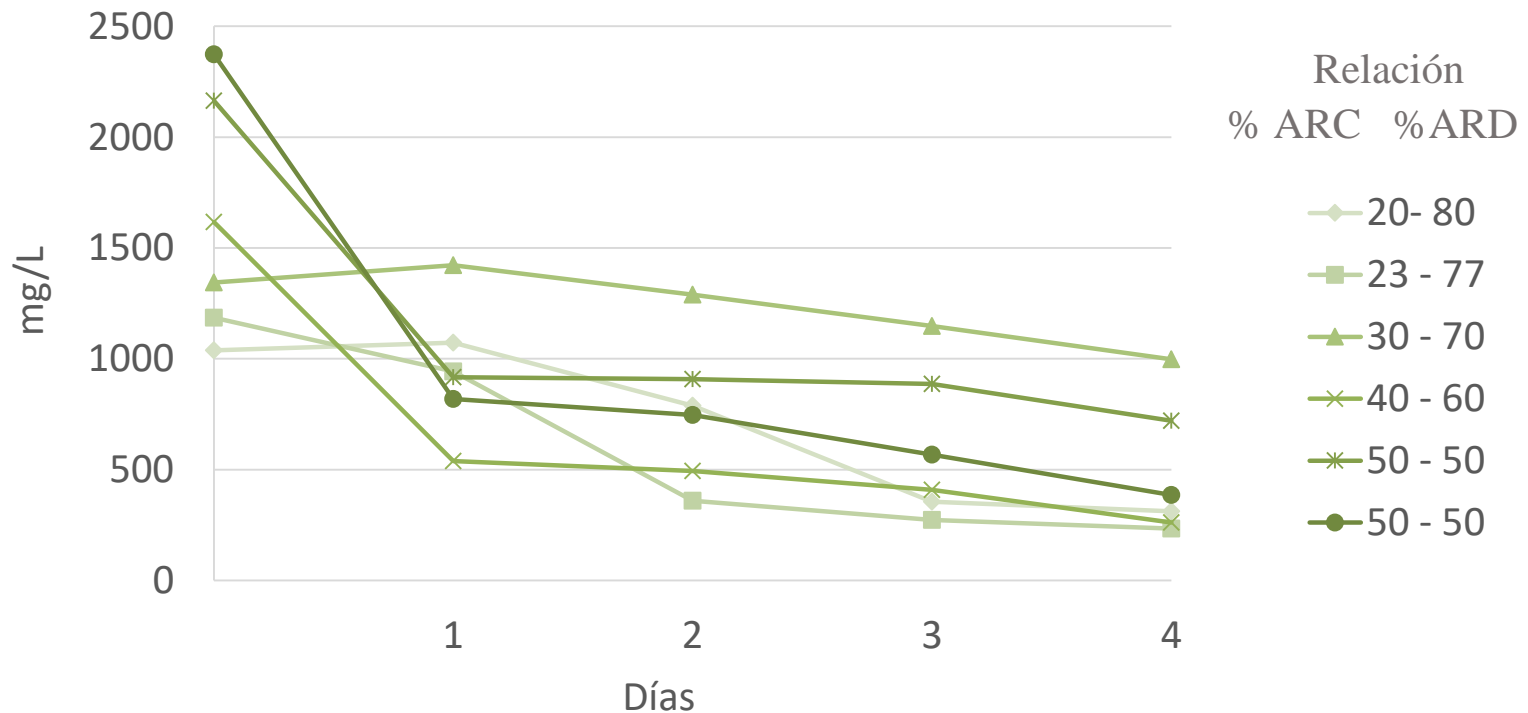






# Desarrollo de la relación óptima Agua Residual Doméstica – Agua Residual de Curtiduría

## Evaluación DQO





## Porcentajes de Remoción de DQO de las diferentes relaciones ARC-ARD

Se evaluaron los porcentajes de remoción de la DQO entre el agua residual mezclada con el agua tratada

Muestra	Relación 23 - 77 (% Remoción)	Relación 30 - 70 (% Remoción)	Relación 40 - 60 (% Remoción)	Relación 50 - 50 (% Remoción)
A T1	39.78	33.68	65.47	17.56
A T2	61.89	42.57	68.09	22.56
A T2	77.22	56.14	78.29	22.01

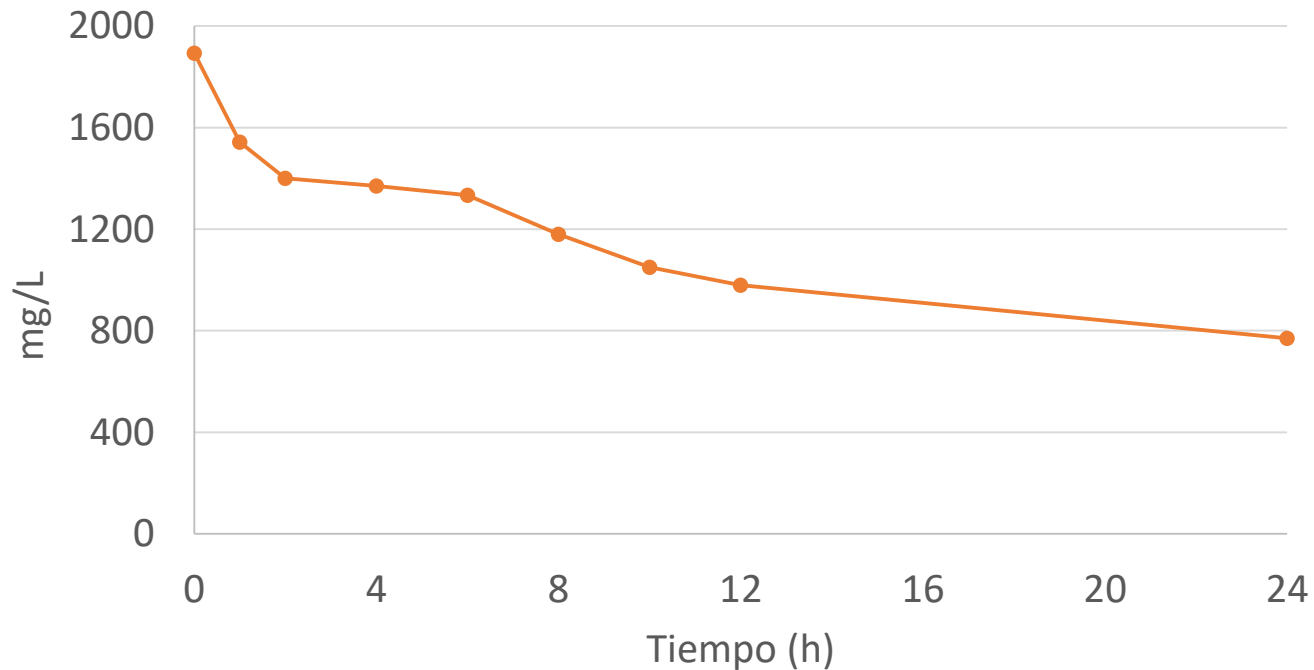
- Sistema biológico aerobio de lodos activados: remoción de la DQO de 60 a 75 %
- Sistema anaerobio biológico de lodos activados remoción de la DQO del 96 %

(Varsha-Midha y Apurba-Dey, 2008)



## Cinética de remoción de DQO por el PBAF

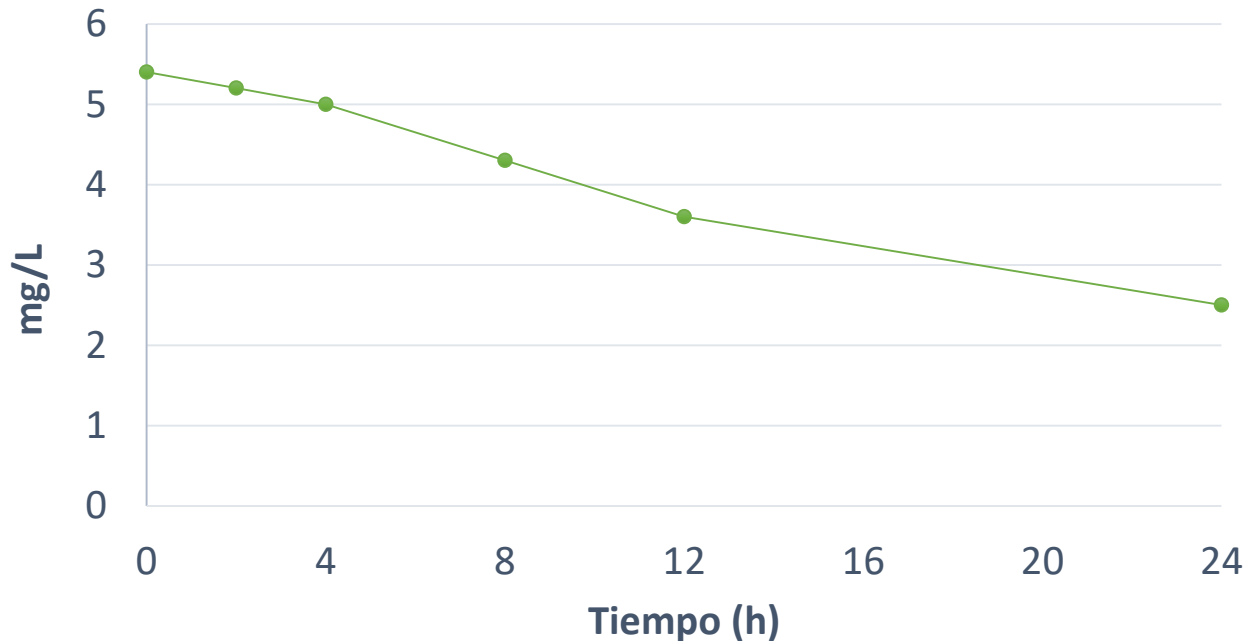
Una vez estable la relación óptima (40% ARC - 60% ARD) se realizó la cinética de remoción de la DQO durante las 24 h del PBAF, el valor inicial de la DQO fue de  $1893 \text{ mgL}^{-1}$  y el final de  $770 \text{ mgL}^{-1}$ , obteniendo una remoción cercana al 60%





## Cinética de remoción de Cr por el PBAF

La concentración inicial de Cr fue de  $5.4 \text{ mgL}^{-1}$  transcurrido el tiempo del tratamiento la concentración final promedio fue de  $2.5 \text{ mgL}^{-1}$ , lo cual demuestra que en 24 h se logró remover el 53% del metal.





# CONCLUSIONES

- El PEAD empleado como medio de soporte mostró ser un material eficiente en la formación de biopelícula ya que a pesar de tener una Se baja en comparación con otros materiales la biomasa formada y medida como STVi fue mayor.
- El PBAF mostró ser un sistema factible para la remoción de materia orgánica en el tratamiento de agua residual doméstica ya que a las 8 h de tratamiento se obtuvieron eficiencias de remoción del 81% de la turbidez, 46% del color y 65% de la DQO.



## CONCLUSIONES

- En cuanto al tratamiento del agua residual de curtiduría es recomendable sedimentarla previo a la mezcla con el agua residual doméstica, ya que este sencillo pretratamiento mostró disminuir los valores de Turbidez, Color y DQO en un 49.21%, 9.96% y 8.93% respectivamente. Además, para que el sistema se mantenga estable y no disminuir su eficiencia en el tratamiento se recomienda mantener una relación en el PBAF de 40% - 60% ARC – ARD respectivamente, para aumentar la biodegradabilidad y facilitar el tratamiento biológico. A pesar de que la DQO en el efluente se encuentra por encima de la norma es de destacar que es posible el tratamiento de aguas con hasta  $1800 \text{ mgL}^{-1}$  de DQO y obtener hasta un 60% en la remoción de ésta.



# CONCLUSIONES

- Una vez estable el sistema en la relación óptima (40 % ARC – 60 % ARD) se obtuvo un efluente con una concentración final de Cr de  $2.5 \text{ mgL}^{-1}$ , a pesar de que el valor aún se encuentra un poco por encima del LMP que marca la norma es de destacar que fue posible obtener porcentajes de remoción del Cr total por encima del 50%.



# AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) donde se realizó el presente proyecto.
- A la M. en C. María Carolina Muñoz Torres del Centro de Geociencias de la UNAM por su apoyo en laboratorio.
- Al Dr. Rufino Nava Mendoza por la asesoría y apoyo otorgado.





# REFERENCIAS

- Álvarez-Castañón, L. C. (2014). Gestión tecnológica de agua en empresas curtidoras: Sistema de monitoreo de variables ambientales. *Revista Electrónica Gestión de las Personas y Tecnologías*, 7(20).
- ATSDR, Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012). *Resumen de Salud Pública Cromo*. División de Toxicología y Ciencias de la Salud.
- Carrasco, C., Rodríguez, E., & Moral, A. (2015). Efecto de la forma y superficie del biosoporte en la formación de biopelículas en edar. *Biosaia: Revista de los másteres de Biotecnología Sanitaria y Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria*, 1(4).
- Díaz-Rodríguez, Y., Casellas Ortega, R., Rodríguez Muñoz, S., Fernández Santana, E., Pérez, M., & Pascual, S. (2016). Biofiltración del gas natural cubano en soporte orgánico con lodos activos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(2), 68-78.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Estadísticas a propósito de la Industria del Calzado. Consultado el 18 de enero del 2017: [inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/economico/a\\_proposi\\_de/Calzado.pdf](http://inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/economico/a_proposi_de/Calzado.pdf)



# REFERENCIAS

- Melita, L., & Popescu, M. (2008). Removal of Cr (VI) from industrial water effluents and surface waters using activated composite membranes. *Journal of Membrane Science*, 312(1), 157-162.
- Metcalf y Eddy, Inc., (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, 4. ed. Nueva York: McGraw-Hill.
- Mijaylova Nacheva P., López Armenta, S., Cardoso Vigueros, L., Ramírez Camperos, E. (2004). Tratamiento de efluentes del proceso de curtido al cromo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Midha, V. & Dey, A. (2008). Biological treatment of tannery wastewater for sulfide removal. *Int. J. Chem. Sci*, 6(2), 472-486.



**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)