

# Caracterización de aguas residuales en la industria de empaques de cartón. Caso: cartones Villa Marina

## Characterization of wastewater in the carton packaging industry. Case: Cartones Villa Marina

Flavia Meza-Mansilla <sup>1</sup>, Nora Malca-Casavilca <sup>2</sup>

Recibido: 23/09/2020 - Aprobado: 03/03/2021 – Publicado: 18/06/2021

### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar los parámetros del efluente generado en el proceso de limpieza de máquinas de impresión, corrugadoras, reactores de preparación de goma como insumo para la fabricación de empaques de cartón corrugado, y compararlos con los valores después de los procesos de coagulación-floculación en una primera etapa, los tratamientos siguientes fueron la electroflotación (EF), electrocoagulación (EC) y lechos de filtración de grava y arena; para la caracterización el laboratorio CERPER realizó el muestreo de las aguas midiendo in situ los parámetros de pH, conductividad y temperatura; en el laboratorio se midió SST, SDT, DQO, DBO, Aceites y Grasas y Metales Totales. Los resultados del agua no tratada, del agua residual tratada con filtros de grava y arena y del agua residual tratada salida de la osmosis inversa se muestran en la Tabla 4.

**Palabras clave:** Aguas residuales; cartones; coagulación; floculación; filtración.

### ABSTRACT

The aim of this research was to characterize the parameters of the effluent generated in the cleaning process of printing machines, corrugators, rubber preparation reactors as an input for the manufacture of corrugated cardboard packaging, and compare them with the values after the processes coagulation-flocculation in a first stage, the following treatments were electroflotation (EF), electrocoagulation (EC) and gravel and sand filtration beds; For the characterization, the CERPER laboratory carried out the sampling of the waters, measuring in situ the parameters of pH, conductivity and temperature; SST, TDS, COD, BOD, Oils and Fats and Total Metals were measured in the laboratory. The results of the untreated water, the wastewater treated with gravel and sand filters, and the treated wastewater from reverse osmosis are shown in Table 4.

**Keywords:** Wastewater; cardboard; coagulation; flocculation; filtration.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Ciudad Universitaria – Av.: German Amezaga s/n. Lima, Perú. Estudiante de la UPG. E-mail: [flaviamezamansilla@gmail.com](mailto:flaviamezamansilla@gmail.com) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-7983>

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Ciudad Universitaria – Av.: German Amezaga s/n. Docente Invitada de la UPG. Dra. Ciencias Ambientales. E-mail: [nmalcac@unmsm.edu.pe](mailto:nmalcac@unmsm.edu.pe) - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2625-9008>

## I. INTRODUCCIÓN

Entre las aguas residuales industriales, el agua residual de las industrias de pulpa y papel es una de las más difíciles de tratar. Esto se debe a que los problemas encontrados son generalmente complejos ya que los efluentes contienen muchos contaminantes de varios tipos dependiendo de su origen. (Renault et al., 2009). La industria de la pulpa y el papel utiliza materiales lignocelulósicos como materia prima para producir papel y cartón. Durante la producción del papel y el cartón, se generan aguas residuales que tienen un alto contenido de sólidos en suspensión, color y sustancias orgánicas en el rango de 75 a 275 m<sup>3</sup> por tonelada de producto (Jaafarzadeh et al., 2016). Además, esta agua residual del sector industrial contiene ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos resínicos, fenoles e hidrocarburos además de dibenzo-p-dioxina y dibenzofurano, compuestos altamente tóxicos y recalcitrantes (Kumar et al., 2015). Debido a estos componentes, estos efluentes son extremadamente peligrosos para el ecosistema porque exhiben un fuerte efecto mutagénico, tienen una toxicidad aguda, causan una disminución del oxígeno y evitan la penetración de la luz. Por lo tanto, se han empleado varios sistemas de tratamiento de aguas residuales y sus combinaciones para minimizar la influencia negativa de los efectos de la industria de la pulpa y el papel en el ambiente hasta ahora (Birjandi et al., 2014). No obstante, en el caso de Cartones Villa Marina se ha encontrado que el cartón tiene otros contaminantes provenientes de las materias primas para la impresión de los cartones, principalmente tintas, soda cáustica, almidón, bórax que son componentes de la goma que se usa para pegar los papeles que conforman el cartón. Es por esta razón que los sistemas de tratamiento, como la coagulación y floculación en los que se utilizan cloruro de polialuminio (PAC) y sulfato de aluminio son muy efectivos para la eliminación de sólidos en suspensión (SS), coloides y toxicidad en las aguas residuales.

## II. MÉTODOS

### 2.1. Caracterización de agua residual no tratada

El efluente generado en el proceso de limpieza de máquinas de impresión, corrugadoras, reactores de preparación de goma en la fabricación de empaques de cartón corrugado utilizados en el sector alimentario, agroexportador, cosmética, y manufactura genera agua residual posee las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 1.

En el área de producción de empaques de cartón, las aguas son conducidas mediante canaletas hacia la cámara de reunión principal, cámara de concreto subterránea de 4m<sup>3</sup> para ser bombeadas a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la empresa, el tratamiento inicia con la coagulación-floculación cabe resaltar que en esta etapa es por Batch de 8m<sup>3</sup> (4 batch/día), los tratamientos siguientes son la electroflotación, electrocoagulación y lechos de filtración de grava y arena.

### 2.2. Equipos e instrumentos empleados por procesos

El proceso inicia con la dosificación de coagulante y floculante (Ver Figura 1), primero se agrega 6l de Sulfato de Aluminio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) de concentración 0.91 kg/l y se mezcla con aire comprimido durante 3 minutos, luego se procede a verificar que el coagulante haya separado las partículas del agua, luego se adiciona 10l de solución de Polímero Cationico cuya concentración es de 5g/l y se mezcla con aire comprimido durante 3 minutos. Ver Tabla 2.

Luego de obtener los lodos (Ver Figura 2) se procede a bombear a un segundo tanque de 2m<sup>3</sup> para la filtración a presión en el filtro prensa de marco y placas de poliuretano de 40x40 cm donde se obtendrá el lodo con 30% de humedad, prácticamente es un residuo sólido (Ver Figura 3).

**Tabla 1.** Características de agua residual no tratada

Parámetro	Resultado
pH	8.6
Temperatura	21.6 °C
Conductividad	1 699 uS/cm
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	3 085 mg/l
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	822 mg/l
Aceites y Grasas	101 mg/l
Aluminio	3 100 mg/l
Arsénico	0.00119 mg/l
Cadmio	<0.000050 mg/l
Cobre	2.533 mg/l
Cromo	0.00691 mg/l
Manganeso	0.06167 mg/l
Mercurio	<0.00005 mg/l
Molibdeno	0.01364 mg/l
Níquel	0.00188 mg/l
Plomo	0.00593 mg/l
Zinc	0.2641 mg/l

**Tabla 2.** Dosificación de coagulantes y floculantes

Parámetros de proceso	Medida
Volumen de solución de $Al_2(SO_4)_3$ 0.91 kg/l:	6 litros
Volumen de solución de Polímero Cationico:	10 litros
Tiempo de mezcla en la coagulación:	3 min
Tiempo de mezcla en la floculación:	3 min



**Figura 1.** Aplicación de coagulante y floculante en el tanque de concreto.  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Lodo proveniente del tratamiento sale del filtro prensa de marco y placas.



**Figura 3.** Lodo filtrado (Residuo sólido) que Físicoquímico.

El agua clarificada se bombea a un tercer tanque plástico (Ht-0) de 10m<sup>3</sup> donde se almacenará el agua para continuar con la electroflotación; aquí mediante bomba P00 se envía al reactor de Electroflotación EF-1 que cuenta con placas acero inoxidable, en esta etapa flotan aceites y grasas, así como sólidos de mayor tamaño (almidón y tinta); el agua y las espumas (contaminantes) formados en dos fases se conducen a los lechos de filtración 1 y 2 que funcionan en paralelo, quedando la espuma en la superficie del lecho y el agua atraviesa la arena y grava (Ver Figura 4).

La corriente eléctrica es suministrada por la fuente regulada de (Voltaje Greego1) que cuenta con control automático de corriente y polaridad inversa. Las electroválvulas V1- V2, V3, V4 permiten la operación automática de limpieza del sistema. La limpieza consiste en detener la operación, drenar los fondos del reactor y lavar con agua tratada de la red. La bomba sumergible P01 envía el agua percolada en estos lechos hacia el electrocoagulador cuyo objetivo principal es retirar los materiales suspendidos y coloides. El electrocoagulador separa el agua residual en dos fases: una corriente de agua que alimenta el tanque Sedimentador (Ubicado debajo de la celda) y la otra fase de espumas o lodos con la mayoría de los contaminantes, son conducidos directamente a las cámaras de lechos de filtración 3 y 4. La corriente eléctrica es suministrada por la fuente regulada de Voltaje Greego2 que cuenta con control automático de corriente y polaridad inversa. Las electroválvulas V1- V2, V3, V4 permiten la operación automática de limpieza del sistema. La limpieza es similar a la citada línea arriba. El tanque sedimentador cuenta con un baffle separador que rebosa hacia el HT-1. Del tanque sedimentador se retirarán lodos usando la bomba P07 sumergible y selector en el tablero de fuerza de Electrocoagulación. Estos lodos pueden ir a lechos 1,2,3,4 según requerido. La bomba sumergible P00A lleva el agua percolada en los lechos 3 y 4 al HT-1. Fuente: Manual R3PROTEK (Ver Figura 5).

### 2.3. Ubicación de los puntos de toma de muestra

Para la caracterización el laboratorio CERPER realizó el muestreo de las aguas, ver Tabla 3, midiendo in situ los

parámetros de pH, conductividad y temperatura y los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas, metales fueron analizados en el laboratorio (Ver Figura 6).

## III. RESULTADOS

En la Tabla 4 se muestran los resultados de los parámetros del agua residual tratada con filtros de grava y arena y el agua tratada a la salida de la osmosis inversa, se puede apreciar que los aceites y grasas fueron removidos en un 98%, la demanda bioquímica de oxígeno se redujo de 822 mg/l hasta 27.5 mg/l asimismo la demanda química de oxígeno pasa de 3085 mg/l a 285 mg/l, los sólidos suspendidos se removieron en un 99%.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos como la temperatura esta se incrementó debido a que los métodos de electrocoagulación y electroflotación funcionan con corriente eléctrica lo que incrementa la interacción entre moléculas, de igual forma al usarse presiones altas (245 psi) en el equipo de osmosis inversa hace que el agua tenga una temperatura de 31.3 °C. El pH del agua residual no tratada es de 8.6 y a la salida de los lechos de filtración es de 7.69 posterior al tratamiento por osmosis inversa se eleva ligeramente el pH debido a la concentración de las sales, debemos recordar que osmosis inversa tiene dos salidas la primera es el agua sin sales (agua permeada) y la segunda es el agua residual de la osmosis. Los metales presentan concentraciones menores a 0.25 ppm .

## IV. DISCUSIÓN

La caracterización del agua mediante los procesos electroflotación (EF), electrocoagulación (EC) y lechos de filtración de grava y arena presenta una elevada eficiencia para DBO 84.1% en agua tratada con filtro de grava y arena, y a la salida de la ósmosis inversa con 96,6%, Mansour y Kesentini (2008) citan que aplican la coagulación/floculación y sedimentación para DBO y obtienen 91% de eficiencia; para la DQO la eficiencia en agua tratada con

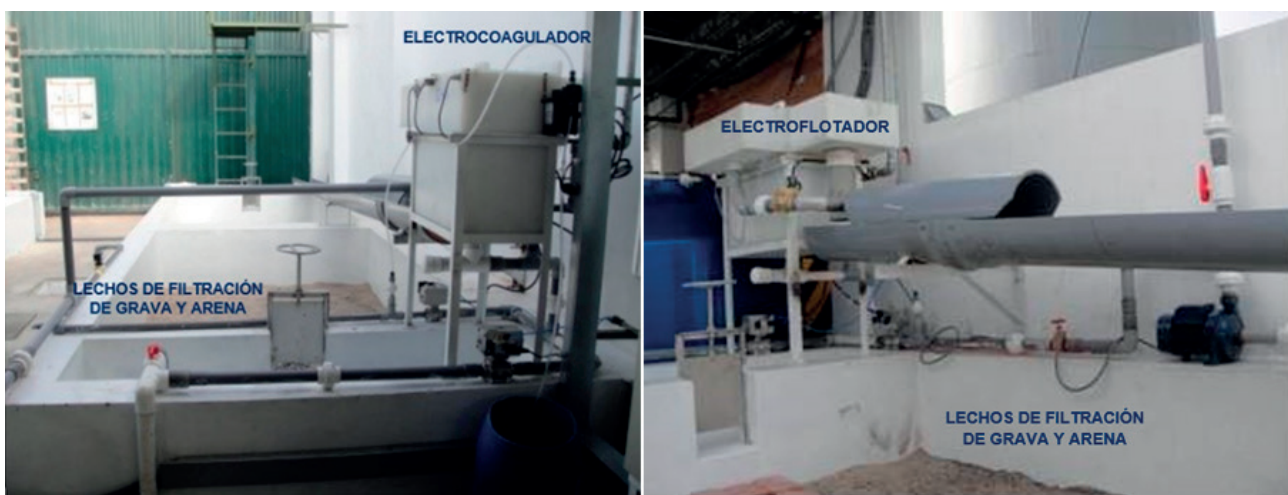


Figura 4. Electroflotador y Lecho de Filtro de Grava y Arena

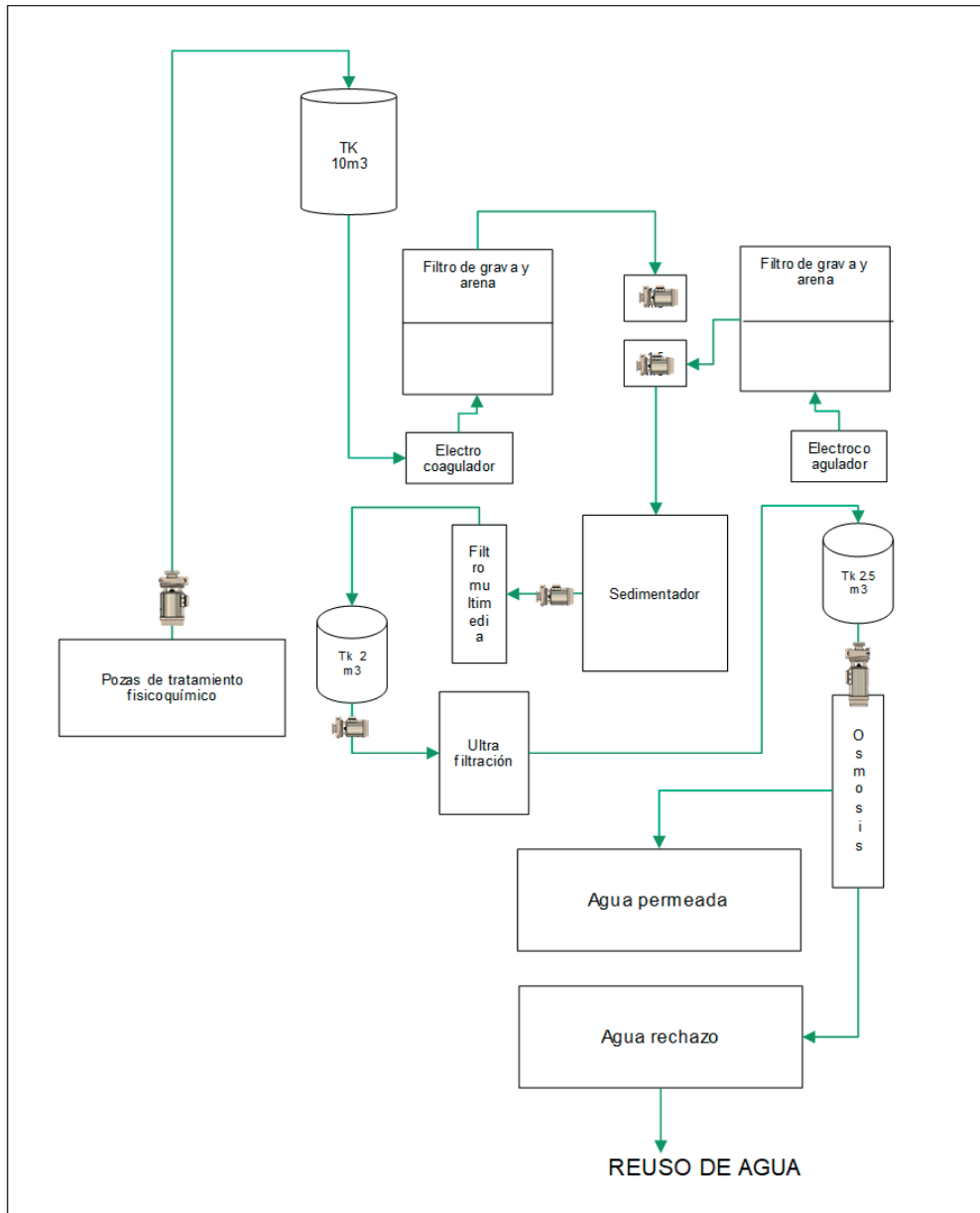


Figura 5. Diagrama de flujo de tratamiento de aguas

Tabla 3. Puntos de muestreos de agua residual

Código	Nombre	Informe Ensayo N.º	Coordenadas Utm Wgs 84, Zona 18 L	
			Este	Norte
E-5	Agua residual tratada -Salida de filtros de grava y arena	1-17561/19	285216	8648769
E-9	Agua residual tratada-Salida del equipo de osmosis inversa	1-17562/19	285201	8648769
E-2	Agua residual no tratada	1-17563/19	285204	8648781

filtro de grava y arena es 84,2% y a la salida de la ósmosis inversa es 90,8%, Gengec (2017) con electrooxidación reporta 82,9% como eficiencia de remoción para DQO y Mansour y Kesentini (2008) reportan 96% para este parámetro, mientras Martínez y De la Macorra (2014) reportan 0,2% de remoción por ello emplean adicionalmente adsorción con carbón activo y obtienen 98,6% de eficiencia, Bellebia, et. al. (2012) reportan para la

electrocoagulación con electrodos de Al una remoción de 80.1%; para SST la eficiencia es 98,1% en agua tratada con filtro de grava y arena, y a la salida de la ósmosis inversa 99,5%, Mansour y Kesentini (2008) reportan 96,5% de eficiencia para SS, Gengec (2017) reporta una eficiencia del 98,7% para la turbidez, mientras que Martínez y De la Macorra (2014) reportan la eliminación del 100% en la turbidez al realizar la coagulación-floculación, Bellebia et.



**Figura 6.** Toma de muestra de agua E-2 Agua residual no tratada (izquierda), E-5 Agua residual tratada-Salida de filtros de grava y arena (centro), E-9 Agua residual tratada-Salida del equipo de osmosis inversa (derecha)

**Tabla 4.** Cuadro comparativo de resultados

Tipo de muestra		Agua no tratada	Agua residual tratada - filtros de grava y arena	Agua residual tratada -salida de osmosis inversa
Parámetros	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado
Aceites y grasas	mg/L	101	3.28	2.35
Conductividad	uS/cm	1699	4109	6736
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	822	131	27.5
Demanda Química de Oxígeno	mgO2/L	3085	487	285
Solidos Disueltos Totales	mg/L	1632	1948	2547
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	963	18.6	5.2
Temperatura	°C	21.6	32.9	31.3
pH	-	8.6	7.69	7.84
Aluminio	mg/L	3100	0.1898	0.1382
Arsénico	mg/L	0.00119	0.00149	0.00857
Cadmio	mg/L	<0.000050	<0.000050	<0.000050
Cobre	mg/L	2.533	0.01419	<0.00030
Cromo	mg/L	0.00691	1.696	0.08306
Manganeso	mg/L	0.06167	0.08707	0.02673
Mercurio	mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Molibdeno	mg/L	0.01364	0.02291	0.03052
Níquel	mg/L	0.00188	0.5454	0.2143
Plomo	mg/L	0.00593	0.00171	0.00279
Zinc	mg/L	0.2641	<0.00050	<0.00050

al. (2012) reportan 99.93%; para el valor del parámetro de pH el agua no tratada muestra alcalinidad de 8,6 y después del agua tratada con filtro de grava y arena la alcalinidad disminuye a 7,69 y a la salida de la ósmosis inversa 7,84, en el trabajo de Mansour y Kesentini (2008) muestra un incremento de alcalinidad del agua pretratada de 7,2 a 7,6, Bellebia, et. al. (2012) reportan para la electrocoagulación con electrodos de Al un valor de pH de 5,3. Para aceites y grasas Martínez y Macorra (2014) reportan una disminución del 40%, mientras que, en este trabajo en agua tratada con filtro de grava y arena, los aceites y grasas disminuyeron en un 96,7%, y a la salida de la ósmosis inversa 97,7%. Kadwe, et. al. (2019) citan que aguas residuales tratadas por sedimentación, coagulación y floculación proporciona

una eficacia de purificación limitada y emplea separación de sólidos y líquidos con la ayuda de la sedimentación gravitacional y las aguas residuales sobrenadantes se tratan mediante un proceso de reactor por lotes biológicamente secuencial obteniendo la reducción de DBO del 80% y la DQO del 90% y el pH de las aguas residuales es de 7-8.

## V. CONCLUSIONES

Podemos concluir que en base al objetivo propuesto se demuestra una eficiencia en la remoción de parámetros del efluente generado en el proceso de limpieza de máquinas de impresión, corrugadoras, reactores de preparación de goma

como insumo para la fabricación de empaques de cartón corrugado, al compararlos con los valores después de los procesos de coagulación-floculación, electroflotación (EF), electrocoagulación (EC) y lechos de filtración de grava y arena. Lo que demuestra que la combinación de EF y EC tiene un potencial satisfactorio para la industria de cartón con un alto contenido orgánico, sólidos suspendidos y toxicidad. El proceso de EC es capaz de remover considerablemente de DQO y la turbidez del agua residual de cartón y papel.

La calidad de agua obtenida cumple con los límites máximos permisibles aprobados por el D.S. N° 003-2002-PRODUCE para las actividades de papel en los parámetros de pH (6-9), temperatura (35°C), sólidos suspendidos totales (500 mg/l), aceites y grasas (50 mg/l), DBO<sub>5</sub> (500 mg/l) y DQO (1000 mg/l).

## VI. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Ing. Santiago Reyna, gerente general de Cartones Villa Marina S.A. por su apoyo en la elaboración de mi tesis y su compromiso continuo en la gestión ambiental y sostenibilidad del sector cartón y papel.

## VII. REFERENCIAS

- Bellebia, S., Kacha, S., Bouyakoub, A. Z., y Derriche, Z. (2012). Experimental investigation of chemical oxygen demand and turbidity removal from cardboard paper mill effluents using combined electrocoagulation and adsorption processes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31(3), 361-370. <https://doi.org/10.1002/ep.10556>.
- Birjandi, N., Younesi, H. y Bahramifar, N. (2014). Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology. *Appl. Water Sci.* 1, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-014-0231-5>.
- Martínez, P y De la Macorra, C. (2014). Caracterización y Tratamiento de las aguas obtenidas en el reciclaje de Cartón Corrugado tipo C. *Tecnología y desarrollo*, (12) 10. Recuperado de [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/595/551](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/595/551)
- Gengec, E. (2017). Treatment of highly toxic cardboard plant wastewater by a combination of electrocoagulation and electrooxidation processes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.032>
- Jaafarzadeh, N., Omidinasab, M., y Ghanbari, F. (2016). Combined electrocoagulation and UV-based sulfate radical oxidation processes for treatment of pulp and paper wastewater. *Process Saf. Environ. Prot.* 102, 462-472. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.019>.
- Kadwe, B., Khedikar, I y Hardas, C. (2019). Treatment of Starch Wastewater from Cardboard Packaging Industry. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, pp 80-83. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/335842064\\_Treatment\\_of\\_Starch\\_Wastewater\\_from\\_Cardboard\\_Packaging\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/335842064_Treatment_of_Starch_Wastewater_from_Cardboard_Packaging_Industry)
- Kumar, S., Saha, T., y Sharma, S. (2015). Treatment of pulp and paper mill effluents using novel biodegradable polymeric flocculants based on anionic polysaccharides: a new way to treat the wastewater. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2 (4). 1415-1428. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/281740100\\_Treatment\\_of\\_Pulp\\_and\\_Paper\\_Mill\\_Effluents\\_using\\_Novel\\_Biodegradable\\_Polymeric\\_Flocculants\\_based\\_on\\_Anionic\\_Polysaccharides\\_a\\_New\\_Way\\_to\\_Treat\\_the\\_Waste\\_Water](https://www.researchgate.net/publication/281740100_Treatment_of_Pulp_and_Paper_Mill_Effluents_using_Novel_Biodegradable_Polymeric_Flocculants_based_on_Anionic_Polysaccharides_a_New_Way_to_Treat_the_Waste_Water)
- Mansour, L., y Kesentini, I. (2008). Treatment of effluents from cardboard industry by coagulation-electroflotation. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1067-1070. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.061>
- Renault, F., Sancey, B., Charles, J., Morin-Crini, N., Badot, P.-M., Winterton, P., y Crini, G. (2009). Chitosan flocculation of cardboard-mill secondary biological wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 775-783. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.023>

