

Influencia del PH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando la electrocoagulación

Influence of PH and time in the removal of hexavalent chromium present in aqueous solutions using electrocoagulation

Carlos Mendocilla Murillos¹ | Dr. José Cruz Monzón²

RESUMEN:

La presente investigación consistió en demostrar la influencia del pH y el tiempo en la remoción de cromo (VI) de una solución acuosa utilizando la electrocoagulación. Para ello se diseñó un reactor de 900 mL de capacidad efectiva, en el cual se acondicionaron 8 placas de aluminio con 75.6 cm² de superficie de contacto cada una (4 de ánodos y 4 de cátodos), alimentado por una fuente de energía continua de 4 amperios y 5 voltios, al cual se le agregó 900 mL de solución de cromo (VI) a 20,5917 ppm; así mismo esta solución, también estuvo conformada por 0.05 M de cloruro de sodio. Por otro lado a la solución se le varió el nivel de pH (3, 5.5 y 8), tomándose muestras de 10 mL en tiempos de 5, 10 y 15 minutos para su análisis. El resultado óptimo del proceso se encontró a un pH 3 y en un tiempo de 15 minutos, con una remoción de 20.0652 ppm o 97.44% de remoción cromo (VI). Por consiguiente, se llegó a demostrar que el pH y el tiempo influyen en la remoción de cromo (VI), en un tratamiento por electrocoagulación con electrodos de aluminio.

Palabras claves: Cromo (VI), Electrocoagulación, Influencia, pH, Tiempo.

ABSTRACT:

The present investigation consisted in demonstrating the influence of pH and time in the removal of chromium (VI) from an aqueous solution using electrocoagulation. To this end, a reactor of 900 mL of effective capacity was designed, in which 8 aluminum plates were conditioned with 75.6 cm² of contact surface each (4 anodes and 4 cathodes), fed by a continuous energy source of 4 amps and 5 volts, to which 900 mL of chromium (VI) solution was added at 20.5917 ppm; likewise this solution was also made up of 0.05 M of sodium chloride. On the other hand, the pH level of the solution was varied (3, 5.5 and 8), taking samples of 10 mL at times of 5, 10 and 15 minutes for analysis. The optimum result of the process was found at a pH of 3 and in a time of 15 minutes, with a removal of 20.0652 ppm or 97.44% removal of chromium (VI). Therefore, it was demonstrated that pH and time influence the removal of chromium (VI), in an electrocoagulation treatment with aluminum electrodes.

Key words: Chromium (VI), Electrocoagulation, Influence, pH, Time.

¹ Universidad César Vallejo - Estudiante de Ingeniería Ambiental.
E-mail: mendocillas@gmail.com

² Universidad César Vallejo - Docente y asesor de Ingeniería Ambiental.
E-mail: jcruz@ucvvirtual.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN:

El cromo es un elemento químico cuyos estados de oxidación más comunes son cromo (III) y cromo (VI), siendo el primero más estable, menos tóxico y menos soluble, inclusive en pequeñas dosis tiene beneficios para la salud en especial para personas con diabetes, ya que controla los niveles de azúcar en la sangre y aumenta la capacidad de las células para regular la insulina. El segundo es altamente oxidante, muy inestable y altamente tóxico (Albert, 1997).

Las industrias dedicadas al rubro de la fabricación de pinturas, preservación de madera, fábricas de aleaciones metálicas, curtiembres, pigmentos textiles, galvanizados, entre otros, en sus procesos generan efluentes con altas concentraciones en cromo (VI) (Sans y De Pablo, 1989).

En la provincia de Trujillo las descargas de cromo se generan principalmente en la industria del curtido, en cuyos procesos utilizan sales de cromo para que sea absorbido por las pieles, pero siempre queda un cierto porcentaje que no es aprovechado, el cual forma parte de sus residuos líquidos (Chávez, 2010 en Arboleda y Herrera, 2015). Entre los tratamientos que se aplican a los vertimientos de estas industrias son químicos y puede que no sean muy eficientes en la remoción de cromo (VI).

La electrocoagulación es un proceso electroquímico utilizado como método para la depuración de aguas residuales mediante la desestabilización de los contaminantes por medio del paso de corriente eléctrica en un medio acuoso a bajo voltaje, el cual se lleva a cabo en un reactor especial donde tienen que estar ubicados los electrodos (García y Letón, 2012).

Este proceso genera elevada carga de cationes desestabilizando los contaminantes formando flócu-

flóculos y estos por acción del gas que se produce son elevados hacia la superficie, de donde se pueden separar por medios mecánicos. (Rajechwar y Ibanes, 1997 y Holt, Barton y Mitchell, 2005 en Arboleda y Herrera, 2015).

Es por eso que tiene la capacidad de remover DBO, DQO, materia orgánica, metales pesados y oxidar compuestos tóxicos a no tóxicos (García y Letón, 2012). Estas tecnologías pueden ser útiles para efluentes de industrias de galvanizados, curtido de cueros, industrias alimentarias, plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, plantas potabilizadoras de agua, textiles, minería, entre otras.

En otros países se han llevado a cabo varias investigaciones relacionadas con la electrocoagulación como es el caso de Un, Onpeker y Ozel en el 2017, con su investigación titulada “The treatment of chromium containing wastewater using electrocoagulation and the production of ceramic pigments from the resulting sludge”, cuyo objetivo general fue desarrollar un proceso de desperdicio cero y la minimización de la contaminación, reutilizando los lodos generados por los recursos. Para lo cual utilizaron una muestra procedente de los efluentes de una instalación de galvanoplastia cuyas características fueron contenido en cromo (VI) de 1000 mg/L, una conductividad eléctrica 4.2 mS/cm y un pH de 2.4; esta muestra fue tratada en un reactor de con una capacidad de 173 mL. Los tratamientos que se aplicaron consistieron en tres niveles de pH (2.4, 4 y 6), cuatro niveles de densidad eléctrica (5, 10, 15 y 20 mA/cm²) y concentración de electrolito en 3 niveles (0.05, 0.1 y 0.15 M de NaCl).

Los resultados óptimos encontrados fueron a un pH de 2.4, una densidad eléctrica de 20 mA/cm² y una concentración de NaCl de 0.05 M, con lo cual se obtuvo una remoción de casi el 100% al cabo de 20 minutos.

Arboleda y Herrera en el 2015, en su investigación “Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo (VI) con electrodos de aluminio – aluminio y hierro – aluminio en condiciones de laboratorio”, en el cual se propusieron a evaluar la remoción de cromo (VI) por electrocoagulación, para esto se utilizó un reactor discontinuo con capacidad de 1.9 L con cuatro electrodos (aluminio y hierro) y una muestra de 1 L la cual consistió en una solución sintética de cromo (VI) a 10 mg/L. Los tratamientos llevados a cabo consistieron en la variación del tipo del material de electrodos (Al-Al-Al, Fe-Fe-Fe-Fe y Al-Fe-Al-Fe) y su variación de la distancia de separación entre ellos (5mm, 10mm y 15mm); también se varió el valor de pH inicial (4, 6 y 8). Las muestras fueron tomadas a los 10, 20, 30 y 40 minutos. El mejor porcentaje de remoción fue del 99% a un valor de pH inicial de 8, una separación de electrodos de aluminio de 5 mm y un tiempo de residencia de 40 minutos.

A nivel nacional, según Porto en el 2014, menciona en su investigación que tiene por título “Evaluación de la remoción de arsénico por electrocoagulación de aguas mineras”, se planteó como objetivo evaluar la remoción del arsénico por electrocoagulación de aguas mineras. Para esta investigación se construyó un reactor de operación batch de medidas 12x10x120cm, con electrodos: 3 cátodos de aluminio y 2 ánodos de acero inoxidable, contando con un área de 288 cm². La muestra que se trabajó en este reactor fue de aguas abajo de un lavadero de oro de una zona minera Anenea. La configuración del proceso consistió en la manipularon los siguientes parámetros como el tiempo de electrocoagulación (10, 15 y 20 minutos) y la densidad de corriente aplicada (3.5, 5.25 y 7 mA/cm²). Posteriormente se obtuvo una remoción del 92.8% de arsénico en un

tiempo de 15 minutos y una densidad eléctrica de 5.25 A/cm².

Por otro lado Arévalo en el 2016, realizó una investigación cuyo título fue “Influencia de la densidad de corriente y el tiempo de residencia en la reducción de arsénico de efluentes artificiales mediante el proceso de electrocoagulación” como objetivo planteado fue determinar la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de residencia, sobre el porcentaje de reducción del arsénico en solución acuosa, mediante el método de electrocoagulación, en el cual se utilizaron ánodos de aluminio en serie y cátodos de acero en un reactor de electrocoagulación de 3 L de capacidad, para poner en marcha el reactor se preparó una muestra de 15.02 ppm de arsénico (III). En el diseño experimental manipularon dos variables en cuatro niveles cada una, las cuales fueron el tiempo de electrocoagulación (15, 30, 45 y 60 minutos) y la densidad eléctrica (10, 20, 30 y 40 mA/cm²). La máxima remoción fue de 99.2% y se obtuvo en un tiempo de 45 minutos y a una densidad eléctrica de 40 mA/cm².

Los residuos líquidos de cromo (VI) son puntuales y de origen industrial que son vertidos en la red de alcantarillado, cuerpos naturales de agua superficial, lo cual pone riesgo la salud humana, la calidad de suelo y agua, la flora y la fauna, por consiguiente esto va alterando los ecosistemas naturales (Sans y De Pablo, 1989).

Los metales presentes en los residuos, son los únicos constituyentes que no pueden ser convertidos o transformados; es por ello que se necesita convertirlos en su forma más insoluble con el fin de evitar la reincorporación al medio ambiente (Elías et al, 2009).

En la presente investigación se da una posible propuesta de tratamiento de aguas, que ayude a minimizar los problemas actuales de contaminación

que afronta el recurso hídrico por parte de las industrias que utilizan cromo en sus procesos, ya que el cuidado de la calidad del agua es de vital importancia, porque garantiza la existencia de vida en todo el planeta.

Industrias importantes en la ciudad de Trujillo como es el caso de las curtiembres generan efluentes con mínimas cantidades de cromo hexavalente, en las cuales existe la posibilidad de que estas aguas superen los parámetros establecidos de este contaminante en la normativa peruana vigente, y esto puede que suceda, debido a que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales que permitan la remoción de dicho metal.

El beneficio de la aplicación de esta tecnología brinda la posibilidad de poder reutilizar el recurso hídrico en los procesos o cuanto menos darle un tratamiento óptimo a sus efluentes, que vaya acorde con las normas y sobre todo que, garantice un respeto por la población y el medio ambiente.

Por último, esta investigación pretende contribuir con futuras investigaciones que tengan el mismo perfil, puesto que este tipo de tratamiento puede aplicar para la remoción, no de solo metales pesados; sino también de materia orgánica. Y de esta manera optimizar sus parámetros de esta tecnología y sea útil para efluentes de distintas características. Como objetivo general se planteó, demostrar si el pH y el tiempo influyen en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando electrocoagulación con electrodos de aluminio. Los específicos fueron, realizar el procedimiento de electrocoagulación en tres niveles de pH, manteniendo las otras variables como constantes, determinando el valor óptimo de operación; realizar el procedimiento de electrocoagulación a tres niveles de tiempo, para determinar el tiempo óptimo de operación, y determinar el grado de remoción de

cromo hexavalente de una solución acuosa a valor de pH y tiempo óptimo.

2. MATERIAL Y METODO:

El diseño con el que se llevó a cabo la presente investigación fue bifactorial, controlando las variables pH (3, 5.5 y 8) y tiempo (5, 10 y 15 min) en tres niveles, para ver efectos en la remoción de cromo (VI).

La población estuvo constituida por soluciones acuosas de cromo (VI) a una concentración de 20 ppm; la muestra por 9 litros de la solución y la unidad de análisis por un litro de dicha solución.

El reactor de electrocoagulación fue construido de material acrílico de una capacidad aproximada de 900 mL, al cual se le acondicionaron ocho electrodos de aluminio de forma alterna (4 cátodos y 4 ánodos) de 75.6 cm² de superficie cada uno. La fuente de alimentación consistió en energía continua de 5 voltios y 4 amperios.

La solución acuosa de cromo se obtuvo mediante la preparación en laboratorio, disolviendo 180 mL de 1000 ppm de una solución madre de sal de dicromato de potasio en 9000 mL, con el fin de obtener una concentración de 20 ppm de cromo (VI). Así mismo a dicha solución se le agregó 26.325 g de cloruro de sodio con el fin de obtener una concentración 0.05 M. posteriormente se fue ajustando el pH litro a litro según lo requerido con soluciones de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico ambos de 0.02 N de concentración.

Los análisis de las muestras tomadas se realizaron en un espectrofotómetro a la llama, para ello se realizó una curva de calibración, de la cual se obtuvo la ecuación de la recta: $Abs = 0.0307[ppm Cr+6] + 0.0013$, con un R² ajustado al 0.9989.

La operación consistió en adicionar 900 mL de la

solución preparada a pH 3 en el reactor de electrocoagulación, tomándose una muestra de 10 mL en 5, 10 y 15 minutos, volviéndose a repetir según las soluciones restantes de pH diferentes.

3. RESULTADOS:

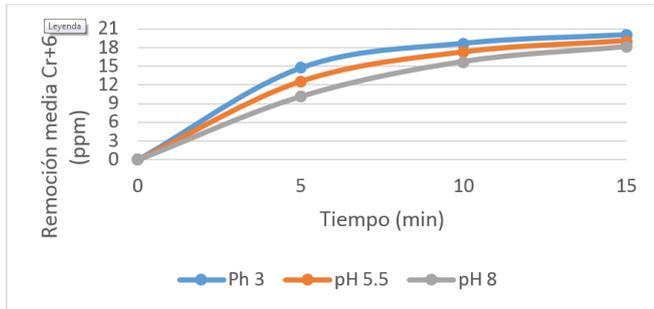


Figura 1. Influencia del pH en la remoción de cromo

En el gráfico de la figura 1 se observan tres líneas que indican tres pH diferentes, también se observan que tienen forma ascendente en función del tiempo, con lo cual se deduce que la remoción es directamente proporcional al tiempo. Así mismo, se aprecia que la línea del pH 3 se encuentra por encima de las líneas del pH 5.5 y pH 8, lo cual indica que presenta la mayor remoción.

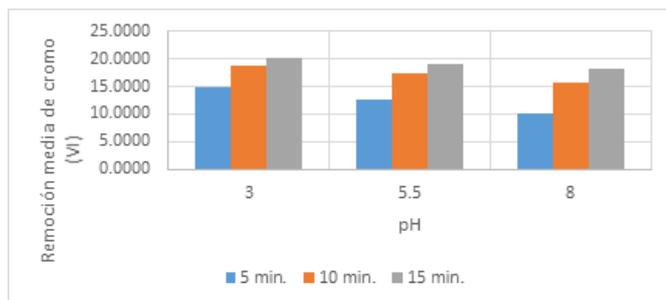


Figura 2. Remoción media de cromo con respecto al pH a diferente tiempo

En el gráfico de la figura 2 se observa como la remoción de cromo (VI) se comporta en forma ascendente, agrupándose los intervalos de tiempo de acuerdo al nivel pH. Se observa también que las barras del pH 3 en el minuto 15, se aproxima a una remoción cercana a la totalidad de la concentración inicial (20.5917 ppm Cr+6)

Tabla 5. Porcentaje de remoción de cromo

Tiempo (min)	Porcentaje de remoción (%)		
	pH 3	pH 5.5	pH 8
5	71.58	60.94	49.25
10	90.75	83.93	76.53
15	97.44	92.61	88.07

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la presente figura 3, se muestran los datos de la tabla 5, los cuales muestran los porcentajes de remoción para cada tiempo y pH. En el cual se aprecia que a valor de pH 3 y en el minuto 15, la remoción es la más próxima al 100%.

Tabla 6. Análisis de varianza de dos factores

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente:	cromo				
Origen	Suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
pH	44.726	2	22.363	85.3	.000
Tiempo	209.593	2	104.797	399.6	.000
pH * Tiempo	5.466	4	1.366	5.2	.006

a. R al cuadrado = ,982 (R al cuadrado ajustada = ,974)

Fuente: Elaboración propia, 2018

De acuerdo con la prueba aplicada de análisis de varianza (ANOVA) de dos factores, se afirma con un 95% de confiabilidad que si hay diferencia de media entre el pH y tiempo y la interacción de ambos, debido a que el valor de significancia es mayor al α ($p > 0.05$).

4. DISCUSIÓN

De la tabla 5 y figura 3, se muestra que a partir de en un tiempo de 15 minutos y un nivel de pH 3 y los demás parámetros constantes (anexo 5), se logra una remoción de aproximadamente del 97.44%. Estos resultados coinciden con la investigación de Un, Onpeker y Ozel (2017), en la cual reportan valores de remoción cercanas al 100% de una concentración

molar del electrolito cloruro de sodio.

Los valores de remoción mostrados en la tabla 5 de la presente investigación, llegan casi el 97.44%, y se logra a pH 3 en 15 minutos. Sin embargo, según Arboleda y Herrera (2015) en su investigación consiguieron remover 99% de cromo (VI) de acuerdo con sus parámetros iniciales óptimos encontrados como: pH 8, tiempo de 40 minutos y 4 electrodos de aluminio. Por un lado, se coincide en el tipo de material de electrodos utilizados; sin embargo, no se coincide con el nivel de pH inicial y tampoco con el tiempo de electrocoagulación. Por otro lado, en la tabla 5 muestra también que a pH 8 se logra remover un 88.07% de cromo, mientras que la investigación en discusión a ese mismo pH se obtuvo un 85% de remoción a un tiempo de 20 minutos. Quizá esta diferencia se deba a la intensidad de corriente y al voltaje utilizado en la celda. Esta investigación, tiene como variable dependiente la remoción de cromo (VI), cuyos valores reportados se muestran en la tabla 1 respecto a las variables independientes de pH y tiempo. Por otro lado, Porto (2015) trabajó la electrocoagulación con el fin de remover el arsénico de un río en Puno, para lo cual manipulo el tiempo y la densidad eléctrica, obteniendo porcentajes óptimos de remoción (92.8%) en un tiempo de 15 minutos y con una densidad eléctrica de 5.25 mA/cm². De acuerdo con esto se coincide que sus valores obtenidos de remoción, se aproximan con los que se muestran en la tabla 5 minuto 15, y en cuanto a la otra variable de dicha investigación también existe cierta similitud, ya que en la presente investigación se llegó a utilizar una densidad eléctrica de 6.614 mA/cm² mostrada en tabla 15. Por consiguiente, las comparaciones realizadas muestran que la electrocoagulación funciona de manera exitosa para el tratamiento de estos metales pesados (Cr y As) concordando con la teoría expresada por García y Letón (2012), la cual menciona

que este tipo de tratamiento electroquímico es efectivo para varios iones metálicos.

La figura 1 muestra la influencia que tiene el tiempo en la remoción de cromo (VI) respecto a sus tres niveles de pH manipulados (3, 5.5 y 8) destacando el pH 3 en el minuto 15 con los valores máximos de remoción, realizando una comparación con el trabajo llevado a cabo por Arévalo (2016), el cual busca la reducción de arsénico (III), para ello trabajo con el tiempo en cuatro niveles (15, 30, 45 y 60 minutos) y con la densidad eléctrica también en cuatro niveles (10, 20, 30 y 40 mA/cm²), de los cuales determino que en 45 minutos y con densidad eléctrica de 40 mA/cm² obtiene un 99.2% de la eliminación de arsénico (III), cabe mencionar que dicho autor no utilizo ayuda de ningún electrolito para aumentar la conductividad eléctrica, ya que es un parámetro importante según lo mencionado por García y Letón (2012).

5. CONCLUSIONES:

El pH y el tiempo influyen en la remoción de cromo hexavalente de soluciones acuosas utilizando la electrocoagulación con electrodos de aluminio.

En el proceso de electrocoagulación, la remoción de cromo hexavalente presentó que el pH inicial de la solución influye en el tratamiento, obteniéndose a pH 3 los valores máximos de remoción.

Durante el proceso de electrocoagulación, se obtuvieron valores máximos de remoción en un tiempo de 15 minutos. Atribuyéndosele como tiempo óptimo.

El máximo valor de remoción de cromo hexavalente fue obtenido a pH 3 en 15 minutos, lo cual fue aproximadamente de 20.0652 ppm, cuyo valor en porcentaje es aproximadamente a 97.44% de remoción

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] ALBERT, Lilia. Cromo. En su: Introducción a la toxicología ambiental. México: Eco, 1997. pp. 227 – 246. ISBN: 9275322333.
- [2] SANS, Ramón y DE PABLO, Joan. Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos [en línea]. Colombia: Marcombo, S.A., 1989 [fecha de consulta: 10 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=kump1OJs6T0C&lpq=PA93&dq=contaminacion%20agua%20metales%20pesados&pg=PP1#v=onepage&q=contaminacion%20agua%20metales%20pesados&f=false> ISBN: 8426707424.
- [3] ARBOLEDA, Juan y HERRERA, Paula. Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente con electrodos de aluminio - aluminio y hierro - aluminio en condiciones de laboratorio. Tesis (Licenciado en Ingeniería). Bogotá: Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2015. 107 pp.
- [4] GARCIA, E; LETÓN, P. Guía de Tecnologías de Tratamiento de Aguas para su Reutilización. España: 2012. Tragua Consolider 218 pp. ISBN: 9788469539859
- [5] UN, Umran; ONPEKER, Eroglu y OZEL, Emel. The treatment of chromium containing wastewater using electrocoagulation and the production of ceramic pigments from the resulting sludge. Journal of Environmental Management, 2017, vol. 200, p. 196-203.
- [6] PORTO, Hugo. Evaluación de la remoción de arsénico por electrocoagulación de aguas mineras. Tesis (Licenciado en Ingeniería). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química, 2014. 133 pp.
- [7] AREVALO, César. Influencia de la densidad de corriente y tiempo de residencia en la reducción de arsénico de efluentes artificiales mediante el proceso de electrocoagulación. Tesis (Magister en gestión de riesgos ambientales y seguridad en las empresas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Sección de Posgrado en Ingeniería, 2016. 97 pp.
- [8] RECICLAJE de Residuos Industriales Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora por Elías [et al.]. 2da ed. Madrid: Díaz de Santos, S.A., 2009. 1322 pp. p 99. ISBN: 9788499693668