

Conference Paper

Recovery of Total Chromium from Tannery Wastewater by Carbonization Application

Recuperación de cromo total de aguas residuales de curtiembre mediante la aplicación de carbonización

P E Ochoa*, S L Gavilanes, J S Achote, and M A Albán

Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. 170521

IX CONGRESO
INTERNACIONAL DE
INVESTIGACIÓN DE LA RED
ECUATORIANA DE
UNIVERSIDADES Y
ESCUELAS POLITÉCNICAS Y
IX CONGRESO
INTERNACIONAL DE
CIENCIA TECNOLOGÍA
EMPRENDIMIENTO E
INNOVACIÓN
SECTEI-ESPOCH 2022

Corresponding Author: P E
Ochoa; email:
pochoa@uce.edu.ec

Published: 9 November 2023

Production and Hosting by
Knowledge E

© Ochoa et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

A carbonization process was carried out for the recovery of chromium from wastewater by chemical treatment with sodium hydroxide as a basic solution in contact with the precursor material at different concentrations [1:0.15 (%w/w) - 1:0.20 (%w/w)]. The physical treatment was carried out with carbonization at 700°C for a period of 2 hours. The obtained samples were characterized by elemental analysis, thermogravimetric analysis (TGA), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), atomic absorption spectroscopy, and surface area analysis (BET) to validate the evidence of metal recovery. The results indicate that the percentage of total chromium recovery was 47.62% with respect to the uncarbonized material, establishing that the best carbonization variables are at 700°C and concentration 1:0.20% w/w for 2 hours.

Keywords: tannery industry, carbonization, recovery, total chromium.

Resumen

Se realizó un proceso de carbonización para la recuperación de cromo a partir de aguas residuales mediante un tratamiento químico con hidróxido de sodio como solución básica en contacto con el material precursor a diferentes concentraciones [1:0,15 (%p/p)- 1:0,20 (%p/p)], el tratamiento físico se realizó con la carbonización a 700°C por un lapso de 2 horas. Las muestras obtenidas se caracterizaron mediante análisis elemental, análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), espectroscopia de absorción atómica y análisis de área superficial (BET) para validar la evidencia de la recuperación del metal. Los resultados indican que el porcentaje de recuperación de cromo total es de 47,62% respecto del material sin carbonizar estableciendo que las mejores variables de carbonización son 700 °C y concentración 1:0.20 %p/p por 2 horas.

Palabras Clave: Industria curtiembre, carbonización, recuperación, cromo total.

 OPEN ACCESS



1. Introducción

La industria curtiembre se encarga del procesamiento de pieles de animales para su transformación en cuero [1]. La producción de cuero tiene un importante impacto económico en la cadena de suministro nacional generando empleo y aportando al PIB. El cuero que es el producto terminado se utiliza en operaciones de fabricación como zapatos, tapicería, arneses, ropa, etc, [2] pero también tiene un impacto ambiental significativo debido a los residuos y contaminantes que se generan durante el proceso de producción que ha llevado a una mayor regulación y control en este sector. En el Ecuador es una industria de poca explotación y debido a esto existen cerca de 80 curtiembres la mayoría localizadas la provincia de Tungurahua [3] lo que deja entrever que es un sector productivo para el país a pesar de su poca industrialización [4].

El proceso químico para tratar las pieles involucra un problema ambiental significativo ya que en una de las etapas del proceso se lleva a cabo el curtido de las pieles mediante la adhesión de sales de cromo que deja como resultado aguas residuales con la presencia de cromo tres y seis [5]. La presencia de cromo total en los efluentes de descarga en las curtidurías presenta un problema medioambiental por su grado de contaminación debido a que ambos en concentraciones elevadas y críticas son nocivas para la salud, esto se debe a que el cromo trivalente presente en los residuos de piel curtida puede sufrir modificaciones en sus propiedades químicas según el ambiente en que se encuentre oxidándose a cromo hexavalente [6].

La concentración permitida de cromo hexavalente en el agua de descarga es de 0,5 mg/L en el texto unificado de Normas de Calidad Ambiental y Disposición de Aguas Residuales, Tomo VI de la Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA). Para cumplir con las leyes y regulaciones existentes la industria debe implementar una gestión de residuos eficaz para reducir la contaminación [7]. Los efluentes de las diferentes líneas de producción utilizan sistemas de tratamiento pero no existe manejo de los residuos líquidos y sólidos.

En Ecuador, la gestión de residuos de la industria curtiembre es mayormente informal y las autoridades ambientales no exigen el cumplimiento de las normas legales en este sector. A pesar de que algunas empresas aplican tratamiento de aguas residuales utilizan principalmente tratamientos químicos como la precipitación de cromo con soluciones básicas o la adsorción de cromo sobre carbones activados [9, 10]. Sin embargo, estos tratamientos pueden resultar costosos, lo que ha llevado a considerar la carbonización como una opción viable para la recuperación de cromo de las aguas residuales [11]. La carbonización es un proceso de degradación de la materia orgánica que permite la obtención de carbón y otro elementos adheridos en la superficie de los



residuos [12]. La recuperación de cromo se lleva a cabo a través de la aplicación de energía calórica mediante el proceso de pirólisis o carbonización permitiendo su fácil remoción [13].

El trabajo de investigación se enfocó objetivamente en encontrar un proceso de recuperación de cromo a partir de los lodos residuales de la industria curtiembre mediante la aplicación de métodos fisicoquímicos e instrumentales y de esta manera obtener material carbonoso para su caracterización en comparación a un material comercial para corroborar la determinación del cromo recuperado.

2. Materiales y Métodos

2.1. Sustancias

El agua residual de la industria curtiembre fue obtenida de la empresa “Curtiduría Aldas” ubicada en el cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua. El hidróxido de sodio (NaOH) y demás reactivos utilizados fueron de grado analítico obtenidos de fuentes comerciales y se utilizó agua destilada en todos los experimentos.

2.2. Metodología

2.2.1. Tratamiento químico

Se preparó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) con concentración molar de 2,0 M denominado [solución básica (SB)]. En un material volumétrico adecuado se coloca un volumen determinado de 500 mL del agua residual y se agrega volúmenes controlados de la solución básica con agitación continua hasta alcanzar un punto de pH igual a 7. La solución final se deja reposar durante un tiempo de 24 h para que los sólidos suspendidos se sedimenten formando un solo lodo que se procede a separar utilizando un filtro de membrana de 0,45 μm después el lodo separado se somete a un proceso de secado en una estufa a 100 °C por un tiempo de 2 h. Finalmente se obtiene un lodo seco que para efectos de estudio se determina como [material precursor (MP)].

2.2.2. Proceso de carbonización

En un material refractario (crisol) se ubica la mezcla sólida-líquida entre el material precursor y la solución básica con dos concentraciones diferentes 1:0,15 (%p/p) y 1:0,20 (%p/p) respectivamente durante un tiempo de 1 h y 2 h cada una de las muestras para



su impregnación química. Las muestras obtenidas se secan a 96 °C durante 24 h y luego se procede a la carbonización a una temperatura de 700 °C por un tiempo de 2 h. Finalmente los materiales obtenidos se lavan con agua destilada a 50 °C y se someten a un secado por 3 h a 100 °C.

2.3. Determinación de cromo total (Cr^{3+} y Cr^{6+})

La determinación de cromo total se realiza por absorción atómica y se lleva a cabo en dos pasos que son digestión y cuantificación para lo cual se prepara un blanco que consiste en una solución de 7 ml de ácido nítrico HNO_3 al 65% y 1 ml de peróxido de hidrógeno H_2O_2 al 30%. Para la digestión se pesa 500 mg de material obtenido en un recipiente adecuado junto a 100 mL de agua destilada y 1 ml de blanco, después se somete por 15 min a 200 °C una vez alcanzada la temperatura en el equipo. Las soluciones para la curva de calibración se obtienen tomando alícuotas diferentes para generar concentraciones de 50 mg/L, 25 mg/L, 10 mg/L y 4 mg/L para asegurar la linealidad en las muestras.

2.4. Métodos de caracterización

El análisis elemental (C, H, O, N y S) se realizó con un analizador ELEMENTAR. Los espectros infrarrojos por transformada de Fourier de los materiales se analizaron en un espectrómetro FT-IR Perkin Elmer Spectrum Two. Los análisis de termogravimetría se realizaron en una termobalanza Mettler Toledo. El análisis de superficie específica se efectuó en un analizador de área superficial Pike Technologies y la determinación de cromo total se realizó en un espectrómetro de absorción atómica AAnalyst400.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización del material carbonizado

En esta investigación se evalúan las caracterización para determinar el efecto de la desorción del cromo en las diferentes muestras cuantificados por técnicas instrumentales y la nomenclatura asignada para las diferentes muestras se establecen de acuerdo a la carbonización de síntesis (CS) para cuatro muestras en diferentes condiciones como se especifica en el tratamiento químico siendo: muestra CS_1 (MP/SB con concentración 1:0,15 %p/p y secado 1 h), muestra CS_2 (MP/SB con concentración 1:0,20 %p/p y secado 1 h), muestra CS_3 (MP/SB con concentración 1:0,15 %p/p y secado 2 h), muestra CS_4



(MP/SB con concentración 1:0,20 %p/p y secado 2 h) y carbón comercial (CC) para estudio comparativo debido a que proviene de un proceso físico.

3.1.1. Análisis elemental

La (Tabla I) indica el análisis elemental de los carbones sintetizados en el proceso de carbonización. Independientemente del tipo de proceso (CS_{1-2} o CS_{3-4}), la cantidad de H y S disminuyen, el porcentaje de O mayormente se mantiene constante, la cantidad de N se mantiene constante en el primer proceso, sin embargo, en el segundo proceso para CS_3 aumenta y finalmente el porcentaje de C aumenta esto último es lo esperado del proceso de carbonización.

Tabla 1

Análisis elemental de CS_1 , CS_2 , CS_3 , CS_4 y CC.

Muestra	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
CS_1	30,82	2,40	57,71	6,50	2,57
CS_2	23,06	0,77	67,81	6,03	2,34
CS_3	35,64	1,62	16,12	41,88	4,74
CS_4	10,82	0,11	84,87	2,92	1,27
CC	86,09	0,32	11,91	1,56	0,12

Los datos revelan que el material se ve influenciado por presencia de heteroátomos como el oxígeno que evidencia desorción de materiales adheridos en el material precursor como el cromo u otros metales como lo señala en su trabajo Minas et. al [13] que se produce un desprendimiento del cromo en la red molecular del material.

3.1.2. Espectroscopía de infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR)

El análisis de grupos funcionales presentes en las muestras se analiza para determinar la huella espectral de un material en común que se observan a partir de los 1500 cm^{-1} de acuerdo al estudio realizado por Yang & Qiu [14]. Los cambios en las estructuras químicas tras el proceso de carbonización se observan evidentemente pues el material comercial (CC) evidencia una huella espectral más definida tanto en **a.** como en **b.** en ambos grupos de espectros de las muestras (CS_{1-2} o CS_{3-4}) y se debe principalmente a la presencia del cromo desprendido de la superficie del material carbonoso.

Independientemente de los espectros **a.** y **b.** la banda vibracional leve entre 3750 – 3500 cm^{-1} corresponde al grupo O–H (hidroxilo), la banda de 2350 cm^{-1} al grupo C–H (alifáticos) mientras que la banda de 1500 cm^{-1} se atribuye al grupo C=O (carbonilo

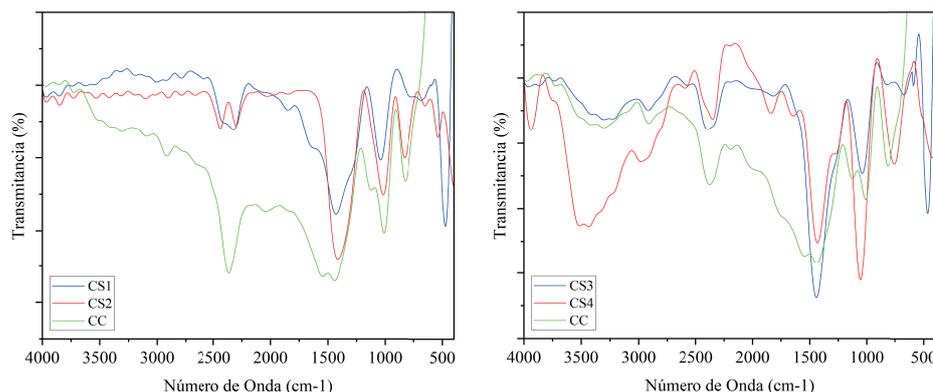


Figura 1

Espectros infrarrojos de los procesos CS₁, CS₂, CS₃, CS₄ y CC.

y carboxilo) y la de 1350 cm^{-1} a C=C (aromáticos), la banda de 1000 cm^{-1} es para grupos C–O–C/C–O (hidroxilo, éster, éter) y finalmente la banda de 790 cm^{-1} a C–H (aromáticos). Sin embargo, cabe señalar que el espectro de la muestra CS₃ en a. tiene un mayor estiramiento para el hidroxilo determinando que el proceso de secado en esta muestra tiene un efecto considerable.

En todos los análisis de **a.** y **b.** la intensidad leve de las bandas correspondientes al grupo hidroxilo es muy débil, que se explica por el proceso de secado en las muestras antes de la impregnación [14]. También se observa una disminución de las bandas de los grupos C–H (alifáticos) y un aumento de las bandas C=C y C–H (aromáticos). La muestra CS₃ se tiene un estiramiento pronunciado a 3500 cm^{-1} donde se indica que la muestra tiene un elevado porcentaje de O por lo cual tendería a formar mas grupos funcionales de tipo O-H. La intensidad de la banda C=O aumenta significativamente, así como C–O–C/C–O. Este resultado es factible debido al proceso de carbonización ya que las muestras tienen mayores cantidades de C como se señala en el estudio de Ji et al [15], y se observa en la (Tabla 1).

3.1.3. Análisis elemental (TGA)

En la (Figura 2) se establece el análisis termogravimétrico (TGA) generado para las muestras obtenidas, donde se evidencian 3 fases importantes: la primera comprende desde la temperatura de 25 °C hasta aproximadamente los 100 °C que corresponde a la pérdida de agua del material carbonoso luego se da un segundo paso con un porcentaje de pérdida muy bajo hasta los 350 °C atribuida a compuestos volátiles como aceites o grasas con bajo peso molecular [16]. Finalmente, un último paso corresponde a la desnaturalización de las proteínas presente en el cuero del animal y posterior



calcinación de estas hasta la temperatura de 700 °C como analiza en su investigación Chen et. al [17].

El termograma **a.** señala que el efecto del proceso de secado por un tiempo de 1 h no es suficiente para eliminar el agua contenida como humedad en la estructura comparado con el termograma **b.** para la muestra CS₄ el secado implica la eliminación de agua casi en su totalidad al no presentar una caída en la curva aproximadamente a los 100 °C. El termograma **b.** señala para la muestra CS₃ un porcentaje alto de volátiles lo que implica que el cromo adherido se ha desprendido de la estructura molecular.

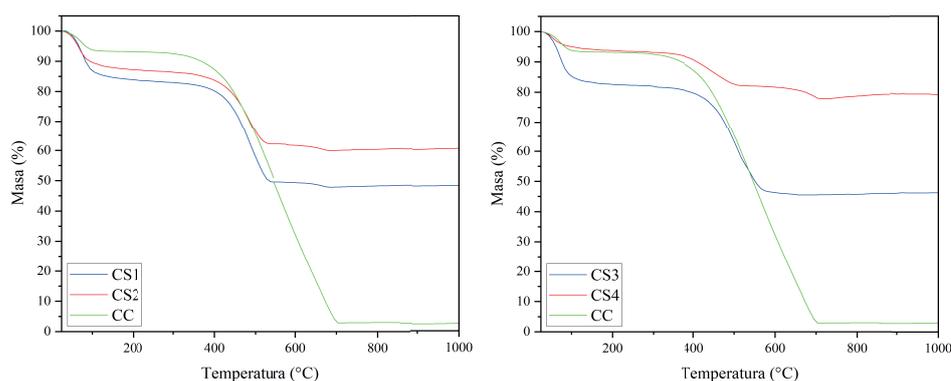


Figura 2

Termogramas de los procesos CS₁, CS₂, CS₃, CS₄ y CC.

El porcentaje de pérdida de masa de agua (humedad) es muy bajo, alrededor del 10% para el termograma **a.** debido a que las muestras se secaron después de la filtración y después de la impregnación. Los resultados para los materiales sintetizados frente al carbón comercial son factibles ya que no presentan un porcentaje alto de compuestos volátiles y tampoco trazas de humedad.

3.1.4. Análisis superficial (BET)

El área superficial BET analizado para las muestras se realiza para determinar los espacios activos libres luego de la carbonización y los resultados se indican en la (Tabla II). El carbón comercial presenta un área específica alta, no obstante, para un tiempo de 2 h de impregnación el área de la muestra CS₃ es mayor frente a los demás carbones y el volumen de la monocapa es mayor por lo que la capacidad de adsorción de esta muestra será mayor como se señala en la investigación de Hidayu et al [18].

El volumen total de poros es alto para la muestra CS₃, esto se debe a que los lodos residuales contienen grandes cantidades de químicos, en especial el cromo trivalente que al oxidarse pasa a hexavalente y que se adhiere a la piel del animal ocupando

**Tabla 2**

Análisis superficial BET de las muestras CS₁, CS₂, CS₃, CS₄ y CC

Muestra	Área Superficial BET (m ² /g)	Volumen total de poros (m ² /g)	Volumen de la monocapa (cm ³ /g)
CS ₁	178,89	0,09	41,09
CS ₂	306,05	0,15	70,31
CS ₃	309,93	0,16	71,20
CS ₄	69,76	0,04	16,03
CC	826,99	0,42	189,97

un volumen dentro de las moléculas que los componen. El proceso de carbonización desprende esta molécula de la matriz molecular generando un volumen alto de poros mayor tanto internos como externo, hecho que se comprueba en los estudios de Beltrán et. al y Da Costa et. al [19, 20] en sus estudios de remoción de cromo total.

3.1.5. Absorción atómica para cromo total

El análisis crítico para determinar la recuperación validad de cromo se sustenta con la caracterización fisicoquímica por diferentes métodos instrumentales como son: análisis elemental, espectroscopia de infrarrojo, análisis termogravimétrico y análisis de superficie específica con el fin de evidenciar un estudio completo para la determinación del cromo recuperado con bases científicas.

La determinación del cromo total se basa en la cuantificación de la suma de cromo trivalente más el hexavalente recuperado después del proceso de carbonización y se lo analiza en un medio acuoso mediante espectroscopia de absorción en las diferentes muestras partiendo de soluciones con concentraciones sensibles bajas y altas puntos para la curva de calibración.

La curva de calibración se prepara para asegurar la robustez del método con la cual se obtiene una regresión lineal para el tratamiento de los datos de las concentraciones en las diferentes muestras de material obtenido como se observa en la (Figura 3).

El material antes del proceso de carbonización (MSC) se evalúa directamente y la concentración de cromo en las diferentes muestras de carbón se observa en la (Tabla III).

La concentración de cromo total en el carbón comercial es muy baja debido a que no es precursor de un lodo residual como si lo son las muestras CS. La muestra CS₃ es el que más cantidad de cromo contiene comparado frente a CS₁₋₂₋₄, por lo que el proceso de carbonización influye directamente en la recuperación de cromo total a través de la adsorción en la superficie del material carbonoso. Independientemente de

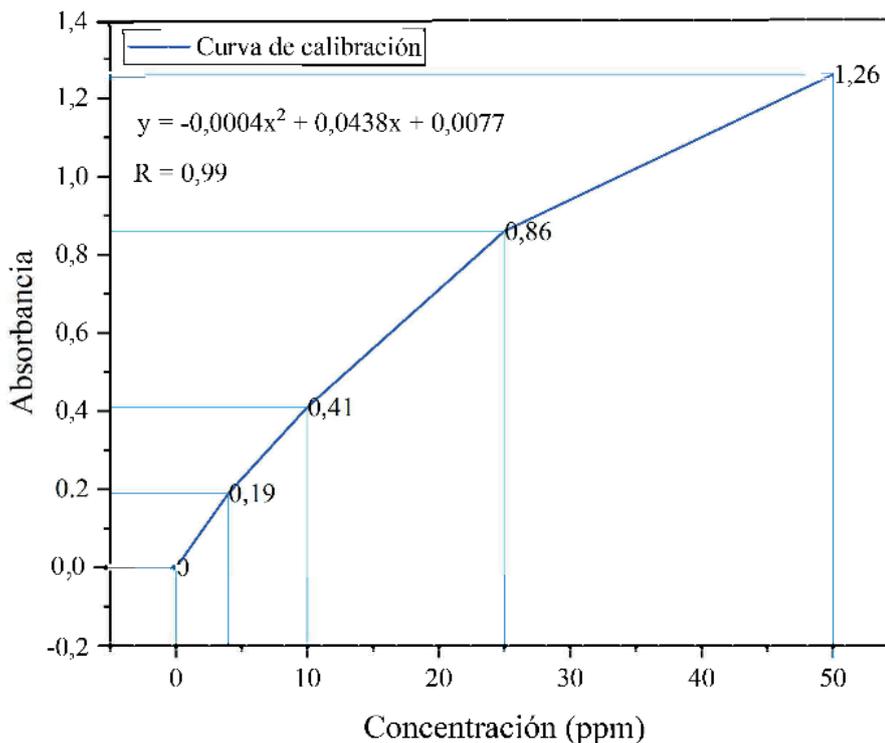


Figura 3

Curva de calibración para la determinación de cromo total por absorción atómica.

Tabla 3

Concentración de Cr para las muestras CS₁, CS₂, CS₃, CS₄ y CC.

Muestra	Concentración de Cr (mg/mL)
CS ₁	76,44
CS ₂	94,54
CS ₃	99,98
CS ₄	92,87
CC	0,267
MSC	67,73

los procesos con tiempo de impregnación diferente la tasa de recuperación del metal es muy alta comparado con MSC hecho que se comprueba para la muestra CS3 con los análisis antes descritos en donde la muestra mentada indica irrefutablemente el desprendimiento de este metal dejando a su paso cantidades altas de carbono para su formación de grupos funcionales nuevos, sitios específicos activos y porcentajes de volátiles altos.



4. Conclusiones

En las mejores condiciones de operación, para la recuperación de cromo, el porcentaje de recuperación de cromo total en los carbones sintetizados (CS) frente a la muestra sin carbonizar (MSC) tiene un mínimo de 12,85% para la muestra CS₁, 39,58% para CS₂, 37,11% para CS₄ y 47,62% para CS₃. Por lo tanto, el método propuesto para la recuperación de cromo total en las aguas residuales de la industria curtiembre, es aplicable para disminuir la concentración de este metal nocivo en la fase acuosa de los efluentes que se desechan en las plantas curtidoras.

El proceso de carbonización influye directamente en el carbón obtenido, obteniéndose características fisicoquímicas mejores y diferentes al material sin carbonizar; la muestra CS₃ indica que las variables operativas en su síntesis son las óptimas, resultados que se validan con los análisis TGA, FT-IR, análisis elemental, y área específica (BET).

Agradecimiento

Este proyecto ha sido llevado a cabo con el soporte financiero de la Dirección de Investigación de la Universidad Central del Ecuador, bajo el Proyecto Senior N°. DI-CONV-2019_041, y con la colaboración de los Laboratorios de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química.

References

- [1] Mohammed K, Sahu O. Recovery of chromium from tannery industry waste water by membrane separation technology: health and engineering aspects. *Scientific African*. 2019;4:e00096.
- [2] Ahmed D, Maraz K, Khan R. Prospects and challenges of chrome tanning: approach a greener technology in leather industry. *Scientific Review*. (Singap). 2021;7(73):42–49.
- [3] Kanagaraj J, Chandra B, Mandal A. Recovery and reuse of chromium from chrome tanning waste water aiming towards zero discharge of pollution. *Journal of Cleaner Production*. 2008;16(16):1807–1813.
- [4] González A, Alaña T, Gonzaga S. La gestión ambiental en la competitividad de las PYMES del Ecuador. *INNOVA Research Journal*. 2017;2(8.1):236–248.
- [5] Shaikjee A, Coville N. The synthesis, properties and uses of carbon materials with helical morphology. *Journal of Advanced Research*. 2011;3(3):195–223.



- [6] Burbridge DJ, Koch I, Zhang J, Reimer KJ. Chromium speciation in river sediment pore water contaminated by tannery effluent. *Chemosphere*. 2012 Oct;89(7):838–843.
- [7] Silva M, Morales D. La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica Ulsrael*. 2021;9(1):69–80.
- [8] Sarmiento C, Sánchez J, García C, Rincón Y, Benítez A, Ramírez J. Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. *Ciencia*. 2004;12:52–63.
- [9] Aravindhhan R, Madhan B, Rao JR, Nair BU, Ramasami T. Bioaccumulation of chromium from tannery wastewater: an approach for chrome recovery and reuse. *Environmental Science & Technology*. 2004 Jan;38(1):300–306.
- [10] Mayta R, Mayta J. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2017;83(3):331–340.
- [11] Nigam H, Das M, Chauhan S, Pandey P, Swati P, et al. Effect of chromium generated by solid waste of tannery and microbial degradation of chromium to reduce its toxicity: A review. *Advances in Applied Science Research Open Access*. 2015;6:129–136.
- [12] Flores-Oña D, Fullana A. Carbon nanoparticles production using solvent assisted hydrothermal carbonization. *Diamond Related Materials*. 2020;108:107960.
- [13] Minas F, Chandravanshi B, Leta S. Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia. *Angewandte Chemie International Edition*. 2017;3:392–405.
- [14] Juan Y, Ke-Qiang Q. Preparation of activated carbon by chemical activation under vacuum. *Environmental Science & Technology*. 2009 May;43(9):3385–3390.
- [15] Ji Y, Li T, Zhu L, Wang X, Lin Q. Preparation of activated carbons by microwave heating KOH activation. *Applied Surface Science*. 2007;254(2):506–512.
- [16] Prakash M, Raghavendra G, Ojha S, Panchal M. Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method. *Materials Today: Proceedings*. 2021;39:1476–1481.
- [17] Chen WC, Lin HY, Yuan CS, Hung CH. Kinetic modeling on the adsorption of vapor-phase mercury chloride on activated carbon by thermogravimetric analysis. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2009 Feb;59(2):227–235.
- [18] Hidayua A, Mohamada N, Matali S, Sharifah A. Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunch using BET and FT-IR techniques. *Procedia Engineering*. 2013;68:379–384.



- [19] Beltrán J, Veloz R, Pérez M, Navarrete J, Vázquez E, et al. Chromium recovery from solid leather waste by chemical treatment and optimisation by response surface methodology. *Chem- Ecol.* 2012;28(1):89–102.
- [20] Da Costa G, Alves J. Recycling of chromium wastes from the tanning industry to produce ceramic nanopigments. *Green Chemistry journal.* 2016;18(19):5342–5356.

Tabla 4*Carta de respuesta*

No.	Comentarios del 1er revisor	Modificaciones efectuadas
1	Indicar en el resumen cual es el tratamiento físico y cuál es el tratamiento químico que se va a utilizar.	Se ha modificado el resumen de manera que se presenta explícitamente en que consiste el tratamiento físico y químico utilizado en la metodología
2	Añadir una revisión de la literatura más actualizada.	Acogiendo la sugerencia se ha actualizado bibliografía con base a las últimas 2 décadas teniendo en cuenta que existen pocos estudios específicos para la recuperación de cromo con carbonización y tomando en cuenta que la guía de autor no estipula un límite mínimo de antigüedad para la bibliografía
3	En la referencia bibliográfica 15 añadir el año. Revisar.	Se ha revisado la bibliografía y se ha actualizado la información faltante acorde a lo sugerido.
4	La coma decimal o punto decimal debe usarse como separador decimal, pero no varían de uno a otro.	Se revisó, corrigió y estableció un separador único decimal para todo el texto.
5	La abreviatura del elemento cromo debe ser Cr en todos los casos. Revisar	La abreviatura se ha generalizado para todo el texto y su uso adecuado en todos los casos también, además para evitar confusión se ha señalado como cromo trivalente al Cr ³⁺ y hexavalente al Cr ⁶⁺
6	Se encuentra Tabla 1 en el texto y en la tabla está como (Tabla I). Revisar	Se ha revisado en las demás tablas y figuras y se ha aplicado las debidas correcciones



Tabla 5

No.	Comentarios del 2do revisor	Modificaciones efectuadas
1	El tema no especifica el tipo de cobre a recuperar y es un tanto ambiguo	El tema señala la investigación de la recuperación de Cromo y en la metodología se ha anexado la información respecto al tipo cromo total así como en el título
2	Uso excesivo de comas en todo el documento, no se hace uso de conectores y puntos seguidos para dar mejor fluidez y comprensión al escrito	Se ha modificado la utilización del signo de puntuación con recursos gramaticales puntuales para empatar ideas.
3	La sectorización de las industrias de curtiembre debería hacerse solo en base a Ecuador, ya que la mencionar a Europa, Estados Unidos y Latinoamérica no aporta información relevante.	La información ha sido modificada de tal manera que se presente la sectorización con el enfoque solamente nacional.
4	El resumen no permite comprender con claridad lo realizado en el trabajo de investigación.	Se ha incluido y mejorado el contenido explícito en el resumen que determina el tratamiento químico y físico dentro de la metodología
5	No se tiene claro si es un proceso de recuperación de cromo o un proceso de obtención de carbón activado (se hace mención una etapa de activación) con impregnación de cromo.	La caracterización del material obtenido por un proceso de carbonización no significa que el material sea un carbón activado, sin embargo, los análisis fisicoquímicos e instrumentales deben estar presentes para determinar la base analítica de apoyo al análisis de determinación de cromo, debido a ello y en acogida a la sugerencia se ha definido a lo largo del manuscrito solamente como "material obtenido" y en las discusiones de los resultados se establece la necesidad de la caracterización
6	La redacción de la introducción requiere de mejoras	Se ha mejorado la redacción de la introducción incluyendo recursos gramaticales prácticos, así como una mejora en la ilustración de ideas empataadas.
7	La metodología no describe de forma clara y concisa que permita comprender cómo y qué se ha realizado en la parte experimental. En general, la metodología requiere una mejor redacción	Se ha actualizado la información incluyendo de manera ordenada, clara y precisa la metodología en todos sus pasos para la parte experimental y caracterización de las muestras.
8	No se entiende por qué hace uso de las abreviaciones CS1, CS2, etc., y tampoco se dispone de su significado	Se ha definido las abreviaciones en base a los parámetros establecidos de manera que no se redunde el significado de los mismos y hacer uso practico en la ilustración de las gráficas.
9	La forma de nombrar al cromo en algunas secciones del documento no es la apropiada	La abreviatura se ha generalizado para todo el texto y su uso adecuado en todos los casos también, además para evitar confusión se ha señalado como cromo trivalente al Cr^{3+} y hexavalente al Cr^{6+}
10	La discusión de resultados es deficiente de argumentación bibliográfica	Los análisis de resultados se han efectuado de tal manera que se han refutado y citado a diferentes autores con estudios en campos de la recuperación de cromo y carbonización
11	No se realiza comparativa de las gráficas y tampoco se argumenta	Se ha añadido comparativas explícitas entre gráficas para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos.
12	Ciertas citas bibliográficas son antiguas	Acogiendo la sugerencia se ha actualizado bibliografía con base a las ultimas 2 décadas teniendo en cuenta que existen pocos estudios específicos para la recuperación de cromo con carbonización y tomando en cuenta que la guía de autor no estipula un límite mínimo de antigüedad para la bibliografía