

EN

## Removal of copper in synthetic water with the use of pectin from orange peel (*Citrus sinensis*)

ES

## Remoción de cobre en agua sintética utilizando pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)

Marco Arturo Arciniega Galaviz

Universidad Autónoma de Occidente, Ciencia ambiental y aprovechamiento sustentable de recursos naturales. México.

### Abstract

\*Corresponding author:  
marco.arciniega@uadeo.mx  
arturo\_arciniega@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-8532-7130

Received: December 18, 2022  
Accepted: February 17th, 2022

DOI:  
10.5154/r.rchsagt.2023.03.04

Water is a vital natural resource to develop life in the world, unfortunately, it has been polluted with heavy metals, for this, it is necessary to treat water that has acquired foreign elements. There are treatments that use pectin from orange peel to which pollutants adhere. In order to reduce the copper amount in synthetic water, the adsorption technique through pectin extracted from orange peel (*Citrus sinensis*) was used, studying the behavior of the copper removal at different pH levels (2, 3, 4, 5 and 6) and different copper concentrations (50, 100, 150, 200 and 250 ppm). As a result, it was obtained that, to remove copper, the optimal pH is of 6, with which a 99% removal is obtained, while the ideal copper concentration to reach the maximum removal percentage is of 50 ppm. In conclusion, it was observed that orange peel, in addition of being useful to remove heavy metals during the water treatment, allows to use these organic waste that could become large volumes of garbage that, when it is not managed correctly, could impact the soil, air, water bodies and the generation of harmful fauna.

**Keywords:** Pectin, waste treatment, heavy metals, organic wastes.

### Resumen

El agua es un recurso natural vital para el desarrollo de la vida en el planeta, lamentablemente ha sido contaminada por metales pesados, por lo que es necesario tratar el agua que ha adquirido elementos extraños. Existen tratamientos mediante el uso de pectina de cáscara de naranja a las cuales se adhieren los contaminantes. Con el objetivo de reducir la cantidad de cobre en agua sintética, se empleó la técnica de adsorción por medio de pectina extraída de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), estudiando el comportamiento de la remoción de cobre a diferentes niveles de pH (2, 3, 4, 5 y 6) y distintas concentraciones de cobre (50, 100, 150, 200 y 250 ppm). Como resultado, se obtuvo que, para eliminar el cobre, el pH óptimo es de 6, con lo que se obtiene un 99 % de remoción, mientras que la concentración de cobre ideal para lograr el máximo porcentaje de remoción es de 50 ppm. En conclusión, se observó que la cáscara de naranja, además de servir para eliminar metales pesados durante el tratamiento de aguas, permite aprovechar estos residuos orgánicos que pudieran convertirse en grandes volúmenes de basura que, al no manejarse de manera correcta, pudieran impactar al suelo, aire, cuerpos de agua y generación de fauna nociva.

**Palabras clave:** Pectina, tratamiento de desechos, metales pesados, residuos orgánicos



**Please cite this article as follows (APA 6):** Arciniega Galaviz, M. A. (2023). Removal of copper in synthetic water with the use of pectin from orange peel (*Citrus sinensis*). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 45-54. doi: 10.5154/r.rchsagt.2023.03.04

## Introduction

Water is the most abundant chemical compound in the world with about 70 % (Cirelli, 2012). Among the uses given to it in Mexico, a 76 % of water is used in agriculture, 14 %, in public supply, 5 % in thermoelectric and 5 % in industry (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018). According to the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2018), 69 % of the fresh water available in the world, is aimed at the agriculture, 23 % at the industry and 8 % at domestic consumption.

Water, after being used, acquires different foreign elements that make it a resource that is no longer suitable for further use, therefore, it is a waste discarded at body waters, sewage systems or soils (Asociación Española de Desalación y Reutilización, 2019). Of the contaminants added to water during its uses, there are organic matter, pesticides, chemical substances, heavy metals, disease-causing organisms, and water at extremely high or low temperatures. Thus, its availability for human activities is decreasing. Thousands of tons of waste are dumped daily into receiving waters, including industrial and chemical residues, human effluents, and agricultural waste (Castro, 2008). The main anthropogenic activities that add pollutants to waters are agriculture, industry, human effluents, transportation, and livestock (Barba, 2002).

The main pollution sources caused by heavy metals are mining, together with the industrial activity, due to the generation of material with particles, gaseous emissions, wastewater, and agricultural activities through the application of agrochemicals that contain metals such as copper, cadmium, and lead (Altimira, 2010). Industries that generate more copper are ferrous metal mining, mineral extraction, metallurgy, iron-base alloys, waste management, electroplating, agriculture, and livestock (Caviedes Rubio et al., 2015).

Cardona Gutiérrez et al. (2013), point out that, within industrial liquid effluents, one of the pollutants that most affects the environment are heavy metals. These pollutants are hardly degraded, for this, they remain in the environment for hundreds of years accumulating in living beings. Due to this pollution of effluents with heavy metals, the scientific community has developed different methods to treat them, however, technologies are highly expensive and inefficient, because they produce sludges and waste (Sánchez et al., 2021).

Copper is a vital metal for plants because it helps in various internal processes, however, at concentrations higher than  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of dry weight tissue, it becomes toxic by inhibiting growth, reducing the cell division

## Introducción

El agua es el compuesto químico más abundante en el planeta con cerca del 70 % (Cirelli, 2012). Entre los usos que se le da en México, un 76 % del agua se utiliza en la agricultura, 14 %, en el abastecimiento público, 5 % en las termoeléctricas y 5 % en la industria (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2018) el 69 % del agua dulce disponible en el planeta se destina a la agricultura, el 23 % a la industria y el 8 % al consumo doméstico.

El agua, después de ser usada, adquiere diferentes elementos extraños que la convierten en un recurso ya no apto para seguirse utilizando, por lo tanto, es un residuo que se desecha a cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado o suelos (Asociación Española de Desalación y Reutilización, 2019). De los contaminantes agregados al agua durante sus usos, se incluyen: materia orgánica, plaguicidas, sustancias químicas, metales pesados, organismos patógenos y agua con temperaturas muy elevadas o bajas. Por lo tanto, su disponibilidad para las actividades del hombre es cada vez menor. Miles de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (Castro, 2008). Las principales actividades antropogénicas que aportan contaminantes a las aguas son la agricultura, la industria, vertidos urbanos, transporte y la ganadería (Barba, 2002).

Las principales fuentes de contaminación por metales pesados son la minería, junto con la actividad industrial, debido a la generación de material con partículas, emisiones gaseosas, aguas residuales y actividades agrícolas mediante la aplicación de agroquímicos que contienen metales como cobre, cadmio y plomo (Altimira, 2010). Las industrias que más generan cobre son: la minería de metales ferrosos, extracción de minerales, metalúrgica, aleaciones con hierro, gestión de residuos, galvanoplastia, agricultura y ganadería (Caviedes Rubio et al., 2015).

Cardona Gutiérrez et al. (2013), mencionan que, dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que afectan más al ambiente son los metales pesados. Estos contaminantes son difícilmente degradados por lo que permanecen en el ambiente por cientos de años acumulándose en los seres vivos. Debido a esta contaminación de efluentes por metales pesados, la comunidad científica ha desarrollado distintos métodos para tratarlas, pero las tecnologías resultan altamente costosas e ineficientes, ya que producen lodos y desechos (Sánchez et al., 2021).

process, affecting the molecular expansion process, and causing death of the apical meristem cells, as well as decreasing grain production, among others (León and Sepúlveda, 2012). Given this situation, it is necessary the use of alternatives such as the biosorption technique, which consisted of reusing organic waste, like peels, this method is effective, cheap, easy to acquire and environmentally friendly.

In Mexico, there are reports about the presence of heavy metals in rivers, lakes, crops, soils, and urban areas, as well as in coast and marine environment, where the accumulation of toxic metals has been detected in tissues of fish and shellfish for consumption (Covarrubias and Peña, 2016). Studies of Colombia and Mexico consider water as a natural resource on which life depends, but it is becoming more and more difficult to obtain in conditions that are suitable for the use of people (Flores and Sosa, 2022).

There are technologies for treating wastewater depending on the pollutant to be removed, within the physical treatments there are sieving, desanding, filtration, that are focused mainly on the total solids removal present in wastewaters, in the same way, there are biological treatments designed to remove mainly organic matter, disease-causing organisms, among these technologies, there are the waste stabilization ponds, activated sludges, bioreactors (Menéndez and Dueñas, 2018). There are also chemical technologies aimed at obtaining highly purified water without salts, minerals, or microorganisms, such as reverse osmosis, electrodialysis, ion exchange, ultraviolet light, ozonation, as part of the physical treatments are technology, the adsorption of heavy metals in wastewater using pectin from orange peel or from other fruit peels, rinds and tree leaves and seed mucilages (Huerga, 2005).

The adsorption technique is one of the most used to remove heavy metals, due to its low cost, efficiency, and availability. Materials used for this process are bacteria, seaweeds, yeasts, in addition to the fact that numerous low-cost natural materials have adequate characteristics with adsorption capacity such as sugarcane bagasse, banana peel, rice husk, coconut fiber, citrus peel, and wood (Eggs et al., 2012). Rentería et al. (2014) attribute bio-adsorbent characteristics to the orange peel due to its low organic matter content. Pectin is mainly found in fruits and vegetables, because its ability is used to balance the water stability within the system (Devia, 2003). Variables that influence the efficiency to remove heavy metals in the water are the pH, size of the particle, temperature, and concentration of the metal (Tejeda et al., 2015). The removal capacity of the pectin has

El cobre es un metal vital para las plantas, ya que ayuda en distintos procesos internos, sin embargo, a concentraciones mayores de  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de tejido en peso seco, llega a ser tóxico al inhibir el crecimiento, reducir el proceso de división celular, afectar el proceso de expansión molecular y causar la muerte de las células del meristemo apical, así como disminuir la producción de granos, entre otros (León y Sepúlveda, 2012). Ante esto, es necesario el uso de alternativas como es la técnica de bioadsorción, la cual consiste en reutilizar los desechos orgánicos, como cáscaras, este método es eficaz, de bajo costo, fácil de adquirirlo y amigable con el ambiente.

En México, existen reportes de la presencia de metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, así como en ambientes costeros y marinos, donde se ha detectado la acumulación de metales tóxicos en tejidos de peces y moluscos de consumo (Covarrubias y Peña, 2016). Estudios de Colombia y México consideran al agua como un recurso natural del cual depende la vida, pero cada vez se complica más obtenerla en condiciones que sea apta para el uso de las personas (Flores y Sosa, 2022).

Existen tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales dependiendo el contaminante que se desea eliminar, dentro de los tratamientos físicos se encuentran cribado, desarenado y filtración, que se enfocan principalmente a la eliminación de sólidos totales presentes en las aguas residuales, de igual manera existen tratamientos biológicos diseñados para eliminar principalmente materia orgánica y organismos patógenos, entre estas tecnologías están las lagunas de estabilización, lodos activados, biorreactores (Menéndez y Dueñas, 2018). También existen tecnologías químicas destinadas a obtener agua con una alta purificación sin presencia de sales, minerales o microorganismos, como podrían ser ósmosis inversa, electrodiálisis, intercambio iónico, luz ultravioleta, ozonificación, como parte de los tratamientos físicos se encuentra la tecnología, la adsorción de metales pesados en aguas residuales usando pectina de cáscara de naranja como podrían ser cáscaras de frutas, cortezas y hojas de árboles y mucílagos de semillas (Huerga, 2005).

La técnica de adsorción es una de las más usadas para la remoción de metales pesados, debido a su bajo costo, rendimiento y disponibilidad. Los materiales que se utilizan para este proceso son, bacterias, algas y levaduras, además de que numerosos materiales naturales de bajo costo poseen características adecuadas con capacidad de adsorción como el bagazo de la caña de azúcar, la corteza de plátano, la cáscara

been studied in different heavy metals such as lead, where it was found that the maximum removal had a pH adjusted to 4.5 - 5.5 (García et al., 2010).

In the state of Hidalgo, the option of incinerating municipal solid waste (MSW) was studied to generate energy, with this, the amount of MSW that are sent for final disposal, decreases, because most of them are sent to landfills and deposited in clandestine dumps (Gutiérrez et al., 2022). Other options were also analyzed, such as the reduction of food waste like fruit peels, taking advantage of them for organic fertilizer, power generation or water treatment. Which leads to positive social, economic, and environmental impacts, but the strategies designed to use the municipal solid waste are scarce and limited (Hernández, 2019). In Sinaloa, more than 500 000 tons of municipal solid waste were produced in 2012, including organic waste (SEMARNAT, 2017) such as fruit peels, which if they are used to produce pectin, they would reduce the amount of municipal solid waste that reaches landfills, thus reducing the generation of leachate, greenhouse gases such as methane, harmful fauna such as birds of prey, rodents and insects, and bad odor.

The aim of this research, was to decrease the amount of copper in the synthetic wastewater using pectin from orange peel as adsorbent, for this, the first step was obtaining the pectin using orange peels (*Citrus sinensis*), in the same way, the behavior of the studied samples at different hydrogen potentials (2, 3, 4, 5 and 6 pH) was analyzed, the percentages of removal at different copper concentrations (50, 100, 150, 200 and 250 ppm) were also studied.

### Methodological approach

This research work was based on the methodology used by Villanueva (2006), in a similar way to what is stated in the Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *Citrus Sinensis* (naranja), *Citrus Limonium* (limón) y *Opuntia Ficus* (palmeta de nopal), with the difference that hydrogen potentials and different initial copper concentrations were studied.

### Desk-based research

Before starting work in the laboratory, a literature research was conducted, where information about the pectin production from orange peel, heavy metals that could be removed with this substance, and the review of studies that used pectin as bio-adsorbent of heavy metals, were obtained from scientific articles, webpages, newspapers, and websites of government institutions. Also, authors such as Villanueva Huerta (2006) and Rentería Villalobos (2014), with their re-

de arroz, la fibra de coco, la cáscara de cítricos y la madera (Eggs et al., 2012). Rentería et al. (2014) atribuyen a la cáscara de naranja características bioadsorbentes debido a su bajo contenido de materia orgánica. La pectina se encuentra principalmente en las frutas y vegetales, para aprovechar su capacidad para balancear el equilibrio del agua dentro del sistema (Devia, 2003). Las variables que influyen en el rendimiento para la remoción de metales pesados presentes en agua, son el pH, el tamaño de la partícula, temperatura y la concentración del metal (Tejeda et al., 2015). Se ha estudiado la capacidad de remoción de la pectina en diferentes metales pesados, como en el plomo, en donde se obtuvo que la máxima remoción se dio con un pH ajustado a 4.5 - 5.5 (García et al., 2010).

En el estado de Hidalgo se estudió la opción de incinerar residuos sólidos urbanos (RSU) para generar energía, con esto se minimiza la cantidad de RSU que se envían a disposición final, ya que la mayor cantidad son enviados a rellenos sanitarios y depositados en tiraderos clandestinos (Gutiérrez et al., 2022), también se analizaron otras opciones como disminuir los desperdicios de alimentos como pueden ser las cáscaras de frutas, aprovechándolos para abono orgánico, generación de energía o tratamiento de aguas. Lo que conlleva a impactos sociales, económicos y ambientales positivos, pero las estrategias diseñadas para hacer uso de los residuos sólidos urbanos son escasas y de poco alcance (Hernández, 2019). En Sinaloa, se produjeron en 2012 más de 500 000 toneladas de residuos sólidos urbanos, entre los que se encuentran residuos orgánicos (SEMARNAT, 2017) como las cáscaras de fruta, las cuales, al ser reutilizadas para producir pectina, reducirían la cantidad de residuos sólidos urbanos que llegan a los rellenos sanitarios, disminuyendo de esta manera la generación de lixiviados, gases de efecto invernadero como es el metano, fauna nociva como pueden ser aves de rapiña, roedores e insectos y el mal olor.

El objetivo de esta investigación, fue reducir la cantidad de cobre en el agua residual sintética utilizando pectina de cáscara de naranja como adsorbente, para esto, primero se obtuvo pectina, utilizando cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), de igual manera se analizó el comportamiento de las muestras a diferentes potenciales de hidrógeno (2, 3, 4, 5 y 6 pH), también se estudiaron los porcentajes de remoción en diferentes concentraciones de cobre (50, 100, 150, 200 y 250 ppm).

### Enfoque metodológico

Este trabajo de investigación se basó en la metodología empleada por Villanueva (2006), de manera similar a lo indicado en la biosorción de Cobre (II) por pectina pretratada de cáscara de *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus*



search “Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)” and Cardona et al. (2013) in their work “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”, were used as reference to develop this research. In the same way, information from institutions such as UNESCO, SEMARNAT and INEGI, were reviewed, from which maximum allowable limits of heavy metals, statistical data about the sewage treatment and problematic of pollutants in wastewater at global level, were considered.

### Preparation of the pectin from orange peel

The orange peel was cut into small pieces, it was washed several times with distilled water previously heated at 40 °C, this to remove essential oil and several types of impurities, and it was placed in an oven at a temperature of 40 °C until it was dried. Finally, it was put in a mill to be crushed and then sieved through a 150 mesh, with an aperture of 0.1115 mm.

### Demethoxylation of pectin from orange peel

0.5 L of a 0.2 M sodium hydroxide solution were added to 30 g of pectin from the sieved orange peel through a 150 mesh, by stirring constantly at 200 revolutions per minute (rpm) for two hours. Subsequently, it was filtered to place it in a centrifuge in order to eliminate the liquid part, for 84 hours, it was dried in an oven at 40 °C, obtaining the pectin for the adsorption of copper.

### Crossover of pectin from orange peel

For the crossover, 20 grams of pectin were placed in 0.5 L of a 0.2 M calcium chloride, it was left under constant stirring at 200 rpm, for 24 hours at room temperature. After 24 hours, the mixture stood for some minutes to proceed with the filtration of the samples, once they were filtered, they were dried in an oven at 40 °C for 72 hours.

### Effect of the pH in the bio-adsorption of Copper Sulphate

Five Erlenmeyer flasks were used to determine an optimal pH for a bio-adsorption of copper, 0.2 grams of pectin from the treated orange peel were placed into each flask. Subsequently, 0.1 L of a calcium chloride solution with a concentration of 100 ppm (parts-per-million) were added at different pH levels (2, 3, 4, 5 and 6).

Mixtures were stirred at 200 rpm for 24 hours, in order to separate the solution of pectin from orange peel to quantify copper with the atomic absorption technique.

*limonium* (limón) y *Opuntia ficus* (palmeta de nopal), con la diferencia de que se estudiaron potenciales de hidrógeno y distintas concentraciones iniciales de cobre.

### Investigación documental

Previo al inicio del trabajo en el laboratorio, se realizó una investigación de literatura, en donde se obtuvo información sobre la producción de pectina de la cáscara de naranja, los metales pesados que podían ser removidos a base de esta sustancia, y la revisión de estudios que utilizaron la pectina como bioadsorbente de metales pesados, tanto en artículos científicos, páginas web, noticias en periódicos y páginas de instituciones gubernamentales. Además, autores como Villanueva Huerta (2006) y Rentería Villalobos (2014), con su investigación “Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*)” y Cardona et al. (2013) en su trabajo “Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)”, sirvieron como referencia en la realización de esta investigación. De igual manera se revisó información de Instituciones como UNESCO, SEMARNAT e INEGI, de las cuales se consideraron límites máximos permisibles de metales pesados, datos estadísticos sobre el tratamiento de aguas residuales y problemática a nivel global de contaminantes en aguas residuales.

### Preparación de la pectina de cáscara de naranja

La cáscara de naranja se cortó en trozos pequeños, se lavó varias veces con agua destilada previamente calentada a 40 °C, esto para eliminar aceites esenciales y diferentes tipos de impurezas, y se colocó dentro de una estufa a temperatura de 40 °C hasta su secado. Finalmente, se introdujo en un molino para ser triturada y después tamizada en una malla 150, con una abertura 0.1115 mm.

### Desmetoxilación de la pectina de cáscara de naranja

A 30 g de pectina de cáscara de naranja tamizada en una malla 150, se le adicionaron 0.5 L de una solución de hidróxido de sodio 0.2 M, agitándose constantemente a 200 revoluciones por minuto (rpm) durante dos horas. Posteriormente se filtró para colocarla en una centrifuga con el objetivo de eliminar la parte líquida, durante 84 horas se secó en una estufa a 40 °C, obteniéndose de esta manera la pectina para la adsorción de cobre.

### Entrecruzamiento de la pectina de cáscara de naranja

Para el entrecruzamiento, se colocaron 20 gramos de pectina en 0.5 L de una solución de cloruro de calcio

## Adsorption process

0.2 grams of the treated pectin were added to six Erlenmeyer flasks, also, 100 milliliters of a copper chloride solution were placed into each flask, each one with different initial copper concentrations (20, 40, 60, 80, 100, 120 ppm), adjusting the pH to four. Mixtures were constantly stirred at 200 rpm for 24 hours at room temperature, subsequently, solutions were filtered, and the copper content was determined through the atomic adsorption technique.

After having treated the pectin from orange peel, 32 grams were obtained from 1 kg of orange peel, which were used to determine if the hydrogen potential influences the copper adsorption process and, in this way, determine the optimal range of pH to remove copper from the water.

## Removed copper

Once the sample filtration process has been completed, pectin from orange peel was retained by the filter, and the amount of copper was determined in the filtered liquid through the atomic absorption method.

First, 0.1 µl of the diluted solution was added to one liter of distilled water, stirring for 10 minutes. 25 milliliters of the diluted solution were put into two containers (for the blank and the treatment respectively), adding to each one, one copper masking reagent powder pillow and only to the first one, a sodium hydrosulfite pillow, to be stirred for 1 minute and stand for three minutes. Finally, samples were analyzed in a spectrophotometer with the 145-porphyrin method and wavelength of 425 nanometers.

## Results and discussion

An initial copper concentration of 193 ppm was used for all pH levels, data obtained from the atomic adsorption spectrophotometer are shown in Table 1.

The percentage of hydrogen was important for the adsorption of copper, because when the pH varies from 2 to 6, the percentages of removal vary significantly, obtaining the higher percentage of removal at a pH of 6. The higher percentage of removal was presented with the pH closest to the neutral value, while for an acid value (pH = 2) the percentage of copper removal was lower (Figure 1). Villanueva (2006) pointed out that at a pH lower than 2.5, the adsorption of copper is low because in the solution there is a great amount of hydronium ions ( $H_3O^+$ ) and they compete against copper to adhere to pectin from orange peel.

0.2 M, se dejó en agitación constante a 200 rpm, durante 24 horas a temperatura ambiente. Pasadas las 24 horas, la mezcla reposó por unos minutos para proceder a filtrar las muestras, una vez filtradas, fueron secadas en una estufa a 40 °C por 72 horas.

## Efecto del pH en la bioadsorción de Sulfato de Cobre

Para la determinación de un pH óptimo para una bioadsorción de cobre, se usaron cinco matraces Erlenmeyer colocándose en cada uno 0.2 gramos de la pectina de cáscara de naranja ya tratada. Después, se agregaron 0.1 L de una solución de cloruro de calcio con una concentración de 100 ppm (partes por millón) a diferentes niveles de pH (2, 3, 4, 5 y 6).

Las mezclas se agitaron a 200 rpm durante 24 horas, con la finalidad de separar la solución de la pectina de cáscara de naranja para la cuantificación de cobre por la técnica de absorción atómica.

## Proceso de adsorción

A seis matraces Erlenmeyer se les agregó 0.2 gramos de la pectina tratada, además en cada matraz se colocaron 100 mililitros de una solución de cloruro de cobre, cada uno con diferentes concentraciones iniciales de cobre (20, 40, 60, 80, 100, 120 ppm), ajustando el pH a cuatro. Las mezclas tuvieron una agitación constante de 200 rpm durante 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente las soluciones se filtraron y se determinó el contenido de cobre por medio de la técnica de adsorción atómica.

Después de haber tratado la pectina de cáscara de naranja, se obtuvieron 32 gramos a partir de 1 kg de cáscara de naranja, los cuales fueron utilizados para determinar si el potencial de hidrógeno influye en el proceso de adsorción del cobre y así determinar el rango óptimo de pH para la eliminación de cobre presente en el agua.

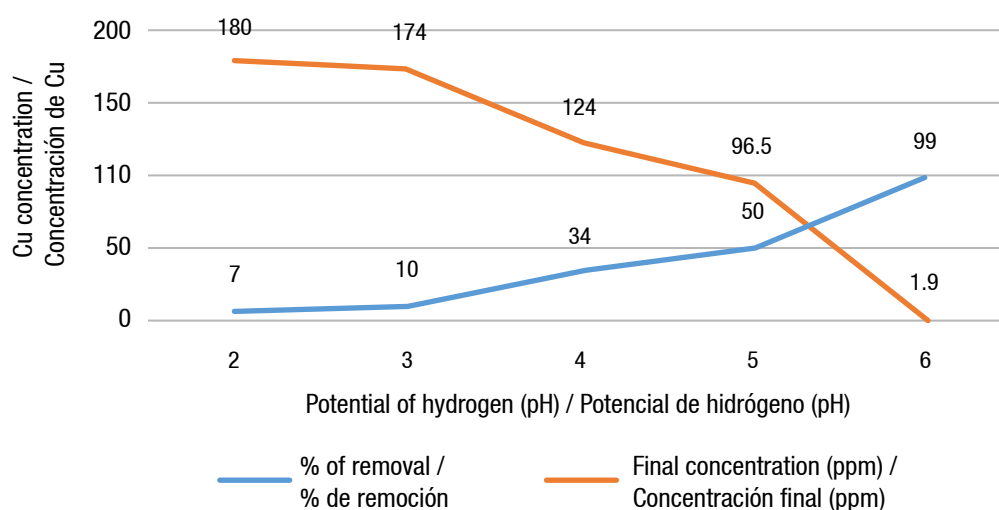
## Cobre removido

Una vez realizado el proceso de filtración de la muestra, la pectina de cáscara de naranja quedó retenida en el filtro y al líquido filtrado se le determinó la cantidad de cobre por medio del método de absorción atómica.

Primero se colocó 0.1 µl de la solución diluida en un litro de agua destilada, agitándose durante 10 minutos. En dos recipientes fueron colocados 25 mililitros de la solución diluida (para el blanco y el tratamiento respectivamente), agregándose a cada uno, un sobre de enmascarante de cobre y solamente al primero

**Table 1. Results of the copper removal at different pH levels.****Cuadro 1. Resultados de la remoción de cobre a diferentes niveles de pH.**

pH	Final concentration (ppm) / Concentración final (ppm)	% of removal / % de remoción
2	180	7
3	174	10
4	124	34
5	96.5	50
6	1.9	99

**Figure 1. Percentages of copper removal at different pH****Figura 1. Porcentajes de remoción de cobre a diferentes pH**

When analyzing the percentages of removal using a constant pH of 4 and aqueous solutions with different copper concentrations, results obtained are shown in Table 2.

Cardona et al. (2013), in their research work, obtained percentages of zinc and lead removal between 90 and 99 % using a hydrogen potential range between 2 and 5, there was no considerable difference in removal for the different pH values, the used amount of pectin from orange peel was 0.5 and 1 grams, in this way, there was not a meaningful difference in the percentage of removal.

At 43.5 ppm of copper, the percentage of removal was 54 %, when the copper concentration is lower, the removal with pectin is more effective, as the copper concentration in the water increases, is more difficult to achieve removal, with an initial copper concentration of 222 ppm, only 2.7 % was removed and for 230 ppm, 3.9 % was removed (Figure 2).

se le agregó un sobre de hidrosulfito de sodio, para agitarse durante 1 minuto y reposar por tres minutos. Finalmente, las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro en el método 145 porfirina y longitud de onda 425 nanómetros.

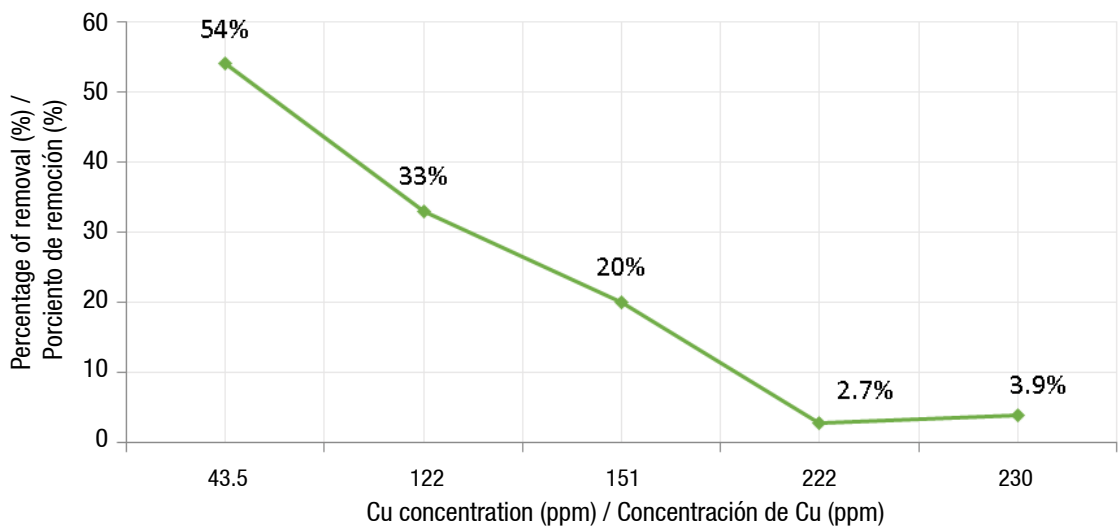
## Resultados y discusión

Se utilizó una concentración inicial de 193 ppm de cobre para todos los niveles de pH, los datos obtenidos del espectrofotómetro de adsorción atómica se muestran en el Cuadro 1.

El potencial de hidrógeno fue relevante para la adsorción del cobre, ya que al variar el pH de 2 a 6 los porcentajes de remoción varían significativamente, obteniendo el mayor porcentaje de remoción a un pH de 6. El mayor porcentaje de remoción fue con el pH más cercano al valor neutro, mientras que a un valor ácido (pH = 2) el porcentaje de remoción del cobre fue el más bajo (Figura 1). Villanueva (2006), indicó que a

**Table 2. Results of the copper removal at different initial concentrations.**  
**Cuadro 2. Resultados de la remoción de cobre a diferentes concentraciones iniciales.**

Initial copper concentration (ppm) / Concentración inicial de Cobre (ppm)	Final copper concentration (ppm) / Concentración final de Cobre (ppm)	% of removal / % de remoción
43.5	20	54
122	81.7	33
151	120	20
222	216	2.7
230	221	3.9



**Figure 2. Percentage of copper removal at different concentrations**  
**Figura 2. Porcentaje de remoción de cobre a diferentes concentraciones**

In a study developed by García et al. (2010), it was proved that the optimal pH to remove heavy metals (lead) is between 4.5 and 5.5, while in another research conducted by Cardona et al. (2013), it was established that the pH with which greater lead and zinc removal was achieved, was of 5. This matches with the results obtained in this research.

It is important to point out that these authors studied the lead removal using citrus fruits and also, in this study, pectin from orange peel was used for the copper removal, according to the results for lead, the optimal pH was slightly more acidic than for copper.

According to the experimental data, the optimal pH for a bio-adsorption process of Copper (Cu) with the use of orange peel, is within a range between 5 to 6. The more acidic the pH, the lower the percentage of removal.

un pH menor de 2.5 la adsorción de cobre es baja ya que en la solución existe una gran cantidad de iones hidronio ( $H_3O^+$ ) y estos compiten con el cobre por adherirse a la pectina de cáscara de naranja.

Al analizar los porcentajes de remoción utilizando un pH de 4 constante y soluciones acuosas con diferentes concentraciones de cobre, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2.

Cardona et al. (2013), en su trabajo de investigación obtuvieron porcentajes de remoción de zinc y plomo entre el 90 y 99 % utilizando un rango de potencial de hidrógeno entre 2 y 5, no existió una diferencia considerable de remoción para los distintos valores de pH, la cantidad de pectina de cáscara de naranja usada fue de 0.5 y 1 gramos, de igual manera no hubo una diferencia significativa en el porcentaje de remoción.



## Conclusions

Pectin from orange peel is an alternative for the adsorption of copper in polluted waters with this mineral.

The pectin extracting method used during this experiment, allows the utilization of orange peels and reagents used for its treatment, are easy to get and the extracting process is also simple.

Based on the results obtained, it is concluded that pectin from orange peel removes more copper when is found in low concentrations, because it removed 54 % at a concentration of 50 ppm, being this the lowest range used.

In this way, the use of orange peel for the sewage treatment allows to remove heavy metals, but it also avoids sending this municipal solid waste to landfills, at best, or avoiding soil contamination in the case that this is thrown in clandestine dumps.

## End of the English version

## References / Referencias

- Altimira, F. (2010). *Efectos de la exposición a cobre en altas concentraciones sobre la diversidad de las comunidades bacterianas de los suelos agrícolas de la región de Valparaíso*. [Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. <https://bit.ly/3A6Al0X>.
- Asociación Española de Desalación y Reutilización. (2019, 2 de febrero). *¿Qué es la reutilización de agua?* Consultado el 17 de octubre de 2022. <https://acortar.link/4kOFEZ>
- Barba, Ho, L. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. CourseHero. <https://bit.ly/3A6Al0X>
- Cardona Gutiérrez, A., Cabañas Vargas, D., y Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería Revista Académica*. 17(1), 1-9. <https://bit.ly/3Ad3Ez6>.
- Castro, Barajas. (2008). *Convergencias y divergencias en el discurso sobre la administración privada del servicio del agua potable y saneamiento: el caso del municipio de Aguascalientes, México*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional] <https://bit.ly/3JONQWf>.
- Caviedes Rubio, D., Muñoz Calderón, R., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., y Sandoval Rojas, I. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Revista Ingeniería y Región*. 13(1), 73-90. <https://bit.ly/3JJ6HlJ>.
- Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*. 11(3), 147-170. <https://acortar.link/cxKJ2>

A 43.5 ppm de cobre, el porcentaje de remoción fue de 54 %, cuando la concentración de cobre es menor, la remoción con pectina es más eficaz, a medida que aumenta la concentración de cobre en el agua es más difícil lograr la remoción, con una concentración inicial de cobre de 222 ppm, solo se removió el 2.7 % y para 230 ppm se removió el 3.9 % (Figura 2).

En un estudio realizado por García et al. (2010), se comprobó que el pH óptimo para remover metales pesados (plomo) es de entre 4.5 y 5.5, mientras que en otra investigación realizada por Cardona et al. (2013), se estableció que el pH en el que se lograba mayor remoción de plomo y zinc era de 5. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación.

Es importante mencionar que estos autores estudiaron la remoción de plomo usando cítricos y también en el presente trabajo, se utilizó pectina de cáscara de naranja para la remoción de cobre, de acuerdo con los resultados para el plomo el pH óptimo fue ligeramente más ácido que para cobre.

De acuerdo a los datos experimentales, el pH óptimo para un proceso de bioadsorción de Cobre (Cu) utilizando la cáscara de naranja, se encuentra en un rango de 5 a 6. Mientras más ácido sea el pH, menor será el porcentaje de remoción.

## Conclusiones

La pectina de cáscara de naranja es una alternativa para la adsorción de cobre en aguas contaminadas con este mineral.

El método de extracción de la pectina que se utilizó durante este experimento permite el aprovechamiento de las cáscaras de naranja y los reactivos utilizados para su tratamiento son fáciles de conseguir así como el proceso de la extracción es sencillo.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la pectina de cáscara de naranja remueve más cobre, cuando este se encuentra a bajas concentraciones, ya que removió un 54 % a una concentración de 50 ppm, siendo el rango más bajo utilizado.

De tal manera que, el uso de la cáscara de naranja en el tratamiento de aguas residuales, permite eliminar metales pesados, pero también se evita el enviar este residuo sólido urbano a los rellenos sanitarios, en el mejor de los casos o evitar la contaminación del suelo en caso de que sean tirados en basureros clandestinos.

## Fin de la versión en español

- Covarrubias, S., y Peña Cabriales, J. (2016). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 33 (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental) 7-21. <https://bit.ly/3JH7NOA>.
- Devia Pineda J. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Revista Universidad EAFIT* (129), 21-30. <https://bit.ly/3Pf6hnY>.
- Eggs N., Salvarazza S., Azario R., Fernández, N., y García, M. del C. (2012). Adsorción de Cromo Hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 141-152. <https://bit.ly/3SEaPal>.
- Flores, R. C., y Sosa, I. R. (2022). La educación ambiental en las universidades pedagógicas: un estudio de las representaciones sociales del uso del agua. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*. 6(10), 124-140. <https://acortar.link/4YiF0w>
- García Villegas, V., Yipmantin Ojeda A., Guzmán Lezama, E., Pumachagua Huertas, R., y Maldonado García, Holger. (2010). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. 13(1), 71-78. <https://bit.ly/3pbcln7>.
- Gutiérrez, F., Coria, A., y Escamilla, P. (2022). Tratamiento térmico de RSU en hornos de cemento en Hidalgo en O. Castro, J. Martínez, J. Rivera J. Fontalvo (Eds.) *Intervenciones y estudios socioambientales Experiencias interdisciplinarias para la sustentabilidad*. 1ra ed. pp. 190-201. <https://acortar.link/epJUBr>
- Hernández, A. E. (2019). Pérdida y desperdicio de alimentos: sus vínculos con el hambre y el ambiente, en Guatemala y el mundo en L. Sánchez, E. Velázquez y L. Victorino (Eds.) *Sostenibilidad y presente. Desafíos y aciertos en la construcción del futuro*. 1ra. ed. pp.164-182. <https://acortar.link/LtRiaG>
- Huerga Pérez, E. (2005). Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. [Tesis de Doctorado, Universitat de València. Departament de Biologia Funcional i Antropologia Física]. Tesis Doctorals en Xarxa. T.ly/s6LO.
- León Morales, J., y Sepúlveda Jiménez, G. (2012). El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. *Interciencia*, 37(11), 805-81. <https://bit.ly/3BVu8X4>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). *Cuéntame de México*. <https://bit.ly/3A7GSZd>.
- Menéndez Gutiérrez, C., y Dueñas Moreno J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 39(3), 97-107. <https://acortar.link/lNaSo9>
- Rentería Villalobos, M., Ramírez Marfil, L., Aguilar Palma, N., Rubio Arias, H., Pinedo Álvarez, C., y Sánchez Verín, C. (2014). Remoción de plomo en solución acuosa por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). *Investigación y Ciencia*, 22(62), mayo-agosto, 2014, pp. 5-10 <https://bit.ly/3AcAzUq>.
- Sánchez, J., González, R., Blancas, F., y Fonseca, A. (2021). Biosorción de metales pesados por subproductos agroindustriales. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 23: 1-18. <https://acortar.link/7VgTT4>
- SEMARNAT. (03 de mayo de 2017). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. <https://bit.ly/3BYKL3Z>.
- Tejada, C., Villabona, A., y Garcés L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*. 18(34), 109-123. <https://bit.ly/3wgOyWX>
- UNESCO. (26 de abril de 2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la cultura. Obtenido de Programa Mundial de Evaluación, Gente y el Planeta*. <https://bit.ly/3p6CGTm>.
- Villanueva Huerta C. (2006). [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] *Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal)*. <https://bit.ly/3JJQzQO>.