

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**CASCARA DE CASTAÑA: ANÁLISIS DE POTENCIALES APLICACIONES  
PARA REMEDIACIÓN DE AGUAS POR CONTAMINACIÓN DE HIERRO  
(FE), PLOMO (PB) Y ARSÉNICO (AS)**

**JAVIERA IGNACIA MENDOZA SUAZO**

HABILITACIÓN PROFESIONAL  
PRESENTADA A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**CHILLÁN-CHILE**

**2023**

**CASCARA DE CASTAÑA: ANALISIS DE POTENCIALES APLICACIONES  
PARA REMEDIACION DE AGUAS POR CONTAMINACION DE HIERRO  
(FE), PLOMO (PB) Y ARSENICO (AS)**

Aprobado por:

Javier Felipe Ferrer Valenzuela  
Ingeniero Civil Químico, Dr.  
Profesor Asociado

---

Profesor Guía

Mónica Montory Gonzales  
Bioquímica, Dra.  
Profesor Asistente

---

Profesor Co-Guía

José Fernando Reyes Aroca  
Ingeniero Civil Metalúrgico, M.Sc., Ph. D.  
Profesor Asociado

---

Profesor Asesor

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. SECTOR DE MAYOR CRECIMIENTO EN ÑUBLE: LA CASTAÑA.....	9
1.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS.....	12
1.3. USO DE CASCARAS DE CASTAÑAS EN REMEDIACIÓN DE AGUAS.....	16
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Objetivo general.....	20
2.2. Objetivos específicos.....	20
3. METODOLOGÍAS.....	21
3.1. Obtención de muestras de cascaras de castaña y su pretratamiento.....	21
3.2. Metodología para la toma de muestra del agua de pozo.....	21
3.3. Metales pesados: Fortificación del agua de pozo con soluciones madre y métodos de análisis.....	22
3.4. Procedimiento experimental con el agua de pozo y las cascaras de castaña para el hierro II (Fe+2) y plomo II (Pb+2).....	22
3.5. Procedimiento experimental con el agua de pozo y las cascaras de castaña para el arsénico V (As+5).....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Caracterización del agua de pozo utilizada.....	26
4.2. Resultados obtenidos para el contaminante Fe, As y Pb.....	27
4.3. Resultados a concentración 10 ppm de hierro.....	28
4.4. Resultados a concentración 250 ppm de hierro.....	32
4.5. Resultados obtenidos para el contaminante arsénico a concentración 3 ppm.....	33
4.6. Resultados obtenidos para el contaminante plomo a concentración 40 ppm.....	35

4.7. Remoción de metales por la cáscara.....	37
4.8. Comparación con otros estudios.....	40
5. CONCLUSIÓN.....	43
6. LITERATURA CITADA.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1. Caracterización de agua de pozo empleada en el análisis.....	27
Tabla 2. Análisis de muestras control para detección de anomalías.....	28
Tabla 3. Cuadro comparativo de remoción de metales frente a los resultados obtenidos.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Producción de toneladas de frutos secos con y sin cascara a nivel mundial.....	5
Figura 2. Principales países productores de frutos secos entre el 2009-2019.....	5
Figura 3. Superficie plantada de avellanos en Chile entre 2000-2020.....	7
Figura 4. Superficie plantada de castaños en Chile entre 2000-2020.....	8
Figura 5. Superficie plantada de nueces en Chile entre 2000-2020.....	8
Figura 6. Superficie plantada de almendras en Chile entre 2000-2020.....	9
Figura 7. Espacio porcentual empleado por cada comuna de la provincia Diguillin para plantación de castaños.....	11
Figura 8. Evolución del mercado de exportación de castañas con cascara (cc) y castañas sin cascara (sc).....	14
Figura 9. Superficie plantada castaños en la Región de Ñuble entre 2000-2020.....	15
Figura 10. Metodología de aplicación de la cascara de la castaña como adsorbente de metales.....	26
Figura 11. Medición de contaminante hierro mediante método colorimétrico a pH 3 y 5.....	30
Figura 12. Medición de contaminante hierro mediante método colorimétrico a pH 7.....	30
Figura 13. Medición de contaminante hierro mediante método colorimétrico a pH 10.....	30
Figura 14. Medición de contaminante a pH 10 una vez aumentada la carga de $Fe^{+2}$ .....	31
Figura 15. Medición de hierro obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.....	31
Figura 16. Medición de contaminante de muestra concentrada a 250 ppm..	32
Figura 17. Medición de arsénico en un rango de pH ácido/base.....	34
Figura 18. Medición de arsénico obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.....	34

Figura 19. Medición de plomo en un rango de pH ácido frente a la acción de la cascara de la castaña.....	36
Figura 20. Medición de plomo obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.....	37



**CÁSCARA DE CASTAÑA: ANALISIS DE POTENCIALES APLICACIONES  
PARA REMEDICION DE AGUAS POR CONTAMINACION DE HIERRO  
(FE), PLOMO (PB) Y ARSENICO (AS)**

CHESTNUT SHELL: ANALYSIS OF POTENTIAL APPLICATIONS POR WATER REMEDIATION DUE TO IRON (FE), LEAD (PB) AND ARSENIC (AS) CONTAMINATION

**Palabras clave:** Restauración, metales pesados, contaminación del recurso hídrico.

**RESUMEN**

El incremento en las plantaciones de frutos secos se ha impuesto en todo el mundo y en particular las castañas las cuales han tenido un alza sostenida en la región de Ñuble, Chile. Con lo anterior, se han realizado diversos estudios para determinar si las cascaras de estos frutos poseen propiedades que permitan mitigar los actuales problemas ambientales que se enfrentan hoy en día. Por ende, en este trabajo se determinó la capacidad de remoción de metales pesados de las cascaras de castaña desde agua de pozo. Para lo anterior se utilizó agua de pozo fortificada con hierro, plomo, arsénico. Los resultados obtenidos indicaron un eficiente proceso de remoción, reduciendo un 99% de hierro y plomo. En el caso del arsénico se redujo un 66%, en donde el pH ácido empleado favoreció el proceso de remoción el cual se replicó en los resultados para el hierro y plomo generando en ellos la adsorción más eficiente. Además, los valores obtenidos fueron superiores a otros obtenidos

empleando diferentes materiales naturales como la cascara de naranja, en otras investigaciones con el mismo fin. Frente a esto es posible considerar este residuo como una opción amigable y eficiente de remoción e inclusive como un complemento en el sistema de tratamientos convencionales de remoción de metales pesados.

## **CHESTNUT SHELL: ANALYSIS OF POTENTIAL APPLICATIONS FOR WATER REMEDIATION DUE TO IRON (FE), LEAD (PB) AND ARSENIC (AS) CONTAMINATION**

**Keywords:** Restoration, heavy metals, environmental problems.

### **SUMMARY**

The increase in nut plantations has been imposed throughout the world and in particular chestnuts, which have had a sustained rise in the Ñuble region, Chile. With the above, several studies have been carried out to determine if the shells of these fruits have properties that allow mitigating the current environmental problems that are faced today. Therefore, in this work the heavy metal removal capacity of chestnut shells from well water was determined. For the above, the MQuant colorimetric analysis obtained through Merck was carried out using well water modified in pH and temperature factors, to which the contaminants were added and subsequently the chestnut shell to then measure the reduction of metals in the samples that were kept constantly under agitation. The results obtained indicated an efficient removal process reducing 99% of iron and lead, in the case of arsenic it was reduced by 66% where the acid pH used favored the process of metal reduction in the solution. In addition, the values obtained were higher than others obtained using natural materials such as orange peel in investigations with the same purpose. Faced with this, it is possible to consider these residues as a friendly and efficient removal option and even as a complement to the system of conventional contaminant removal treatments

## 1. INTRODUCCIÓN

Según datos del consejo internacional de frutos secos (INC) el consumo de frutos secos ha venido en aumento en los últimos 10 años, siendo el incremento más significativo en las economías de bajos ingresos, donde el consumo pasó de 34000 Ton en 2007 a más de 220000 Ton en 2017 (Cerpa, 2020).

Las estimaciones de la última década muestran una tendencia positiva en la producción mundial de frutos secos, incrementándose en 976.000 toneladas métricas entre 2009/10 y 2019/20. Con el 40 % de la participación mundial en 2019/2020, América del Norte fue el mayor productor de nueces en todo el mundo seguido de Oriente medio, cuya producción consistió principalmente en avellanas (ver Figura 1 y 2) (International Nut and Dried Fruit, 2020).

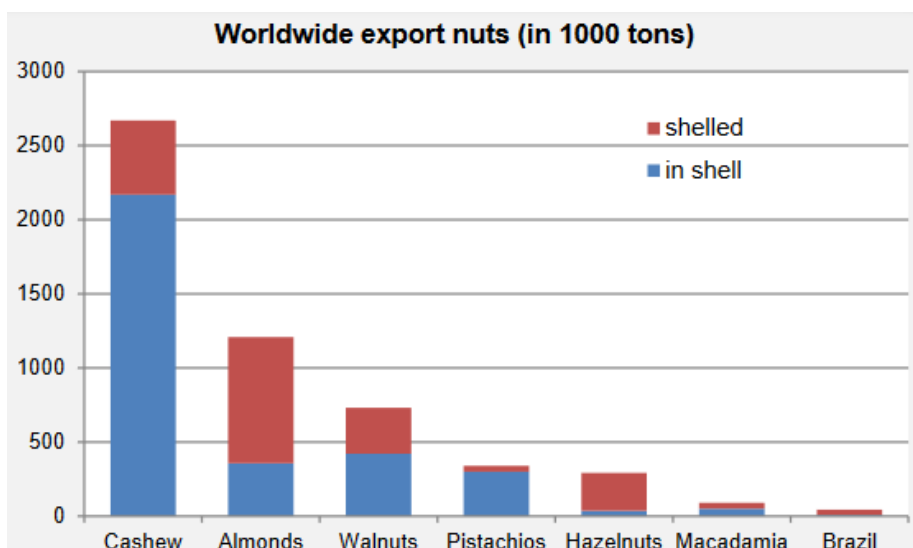


Figura 1. Producción de toneladas de frutos secos con y sin cascara a nivel mundial (International Nut and Dried Fruit, 2020).



Figura 2. Principales países productores de frutos secos entre el 2009-2019 (International Nut and Dried Fruit, 2020).

Los productores más importantes del mundo de este tipo de frutos, excepto por Estados Unidos, comúnmente enfrentan dificultades productivas originadas en la fragmentación de su producción en pequeñas unidades, pocas posibilidades de mecanizar sus plantaciones por las características topográficas de sus plantaciones, problemas fitosanitarios de cosecha y secado, dificultades climáticas, incluyendo, en algunos casos, una falta de enfoque empresarial (INIA, 2018).

La industria chilena, si bien no se encuentra dentro de la categoría de potenciales productores, ha tenido un desarrollo notable basado especialmente en sus ventajas comparativas y competitivas. Estas ventajas se manifiestan en el buen clima del país, con otoños en general secos, apropiados para la cosecha, y terrenos planos que permiten mecanizar parte del proceso productivo y facilitan la utilización de riego en los predios (Bravo, 2012). Estas perfectas condiciones climáticas para el desarrollo de estos cultivos aseguran mantenerse durante un largo periodo según Jose Vicencio, meteorólogo de la oficina de servicios climatológicos de la dirección meteorológica de Chile, quien afirmó que ha ocurrido un aumento en el déficit de precipitaciones, lo cual es una situación que favorece el desarrollo de este fruto (Vicencio, 2020). Estas condiciones propician el cultivo de frutos secos y, por consiguiente, el aumento de las cascarras que se generan durante el proceso. El sector de frutos secos en Chile que incluye, castañas, nueces, almendras y avellanas, tuvo un dinámico desarrollo durante el periodo 2000

2020 de acuerdo con las cifras de superficie plantada publicadas en Odepa, Ciren, como se puede apreciar en las Figuras 3, 4, 5 y 6 (Muñoz, 2016).

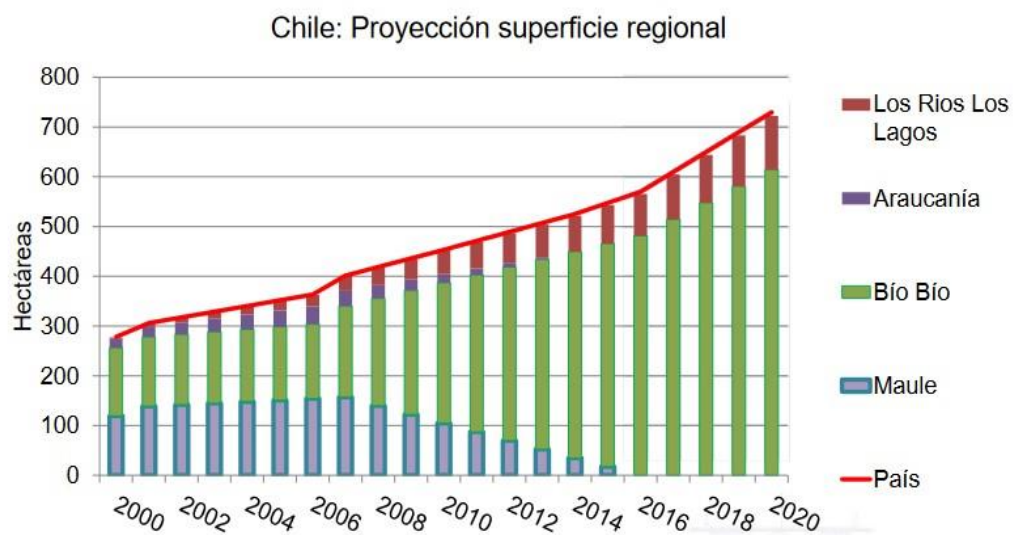


Figura 3. Superficie plantada de avellanos en Chile entre 2000-2020 (Muñoz, 2016).

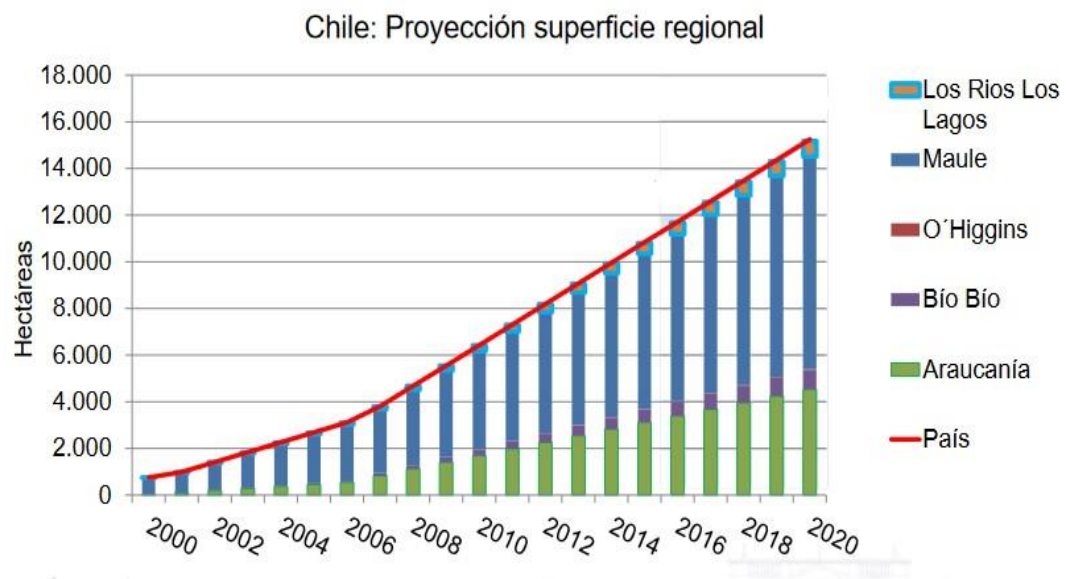


Figura 4. Superficie plantada de castaños en Chile entre 2000-2020 (Muñoz, 2016).

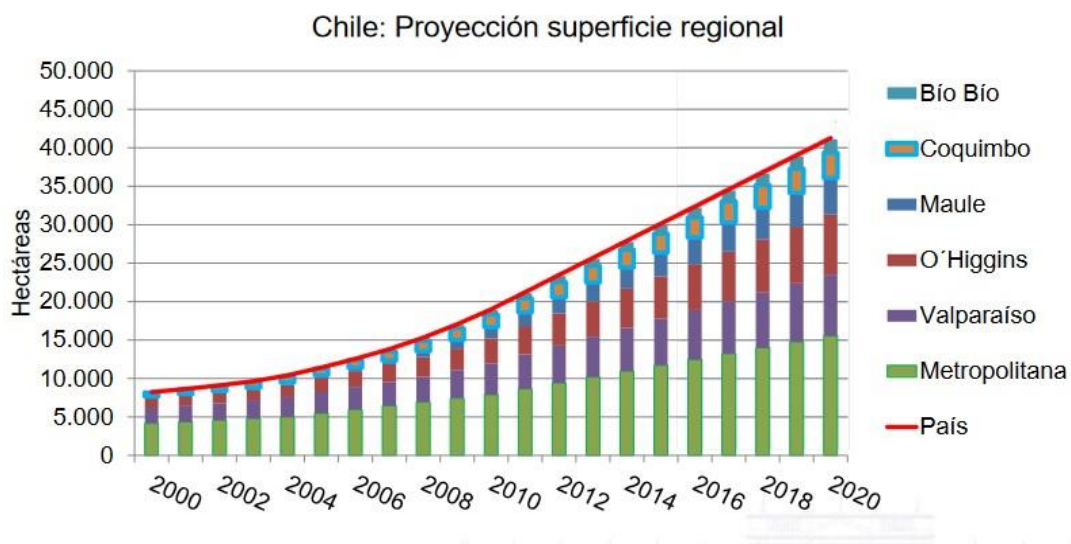


Figura 5. Superficie plantada de nueces en Chile entre 2000-2020 (Muñoz, 2016).

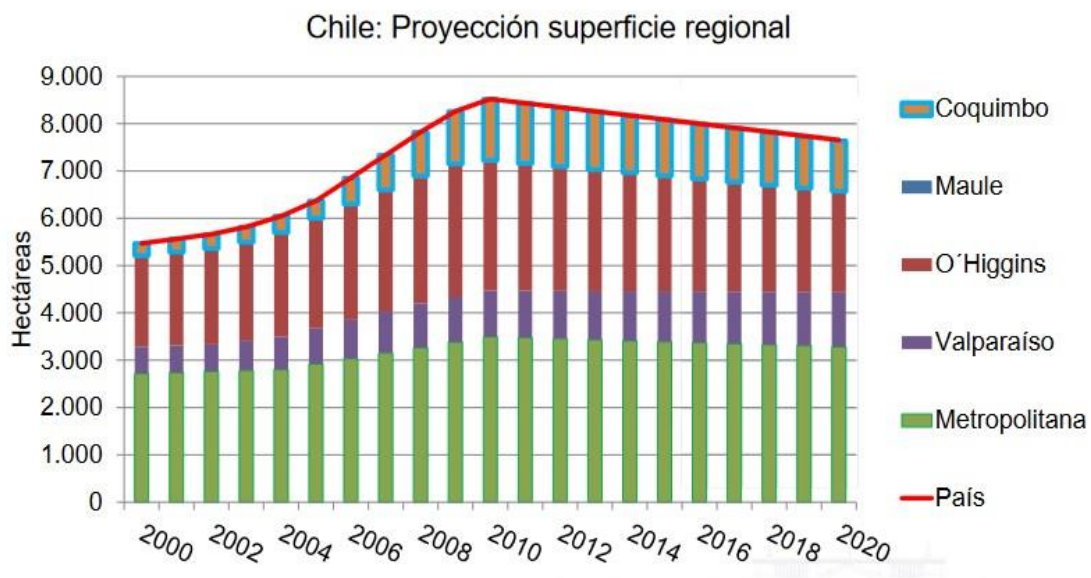


Figura 6. Superficie plantada de almendras en Chile entre 2000-2020 (Muñoz, 2016).

Como se puede observar en las figuras 3, 4, 5 y 6 todos los frutos plantados presentan un incremento que es relativamente constante. Sin embargo, a pesar de ser un mercado que se encuentra aún en desarrollo (ODEPA, 2012), es una industria que produce grandes cantidades de residuos orgánicos, dados principalmente por las cáscaras en diversos países a nivel mundial (International Nut and Dried Fruit, 2020).

### 1.1. Sector de mayor crecimiento en Ñuble: La castaña

Dentro de la categoría de frutos secos a nivel nacional, la castaña es la que ha presentado el mayor crecimiento de superficies plantadas en un corto plazo (Fundación para la innovación agraria, 2018). Se estima que en Chile hay unas 700 hectáreas plantadas con este frutal y el 75% de estas se encuentran en la

Región de Ñuble, principalmente en la localidad de El Carmen. El castaño es un cultivo emblemático y, al mismo tiempo, una alternativa más rentable para las particulares condiciones climáticas y de suelo del secano de la precordillera (Fundación para la innovación agraria, 2018). Según un estudio realizado en conjunto con el Programa de Innovación de Frutales de Nuez de FIA, apoyados por el Grupo de Transferencia Tecnológica (GTT) de castañas INIA de El Carmen, y la Agrupación de Castañeros de El Carmen, la castaña es uno de los frutos con mayor potencial económico y de innovación para la zona, las condiciones agroclimáticas para la producción del mismo se encuentran en zonas muy específicas, al ser una especie exigente en la calidad de los suelos y el clima. En el territorio del Laja-Diguillín y en la Provincia del Ñuble, se ha observado la mejor adaptación de esta especie en el territorio nacional (Fundación para la innovación agraria, 2018). A continuación, se presentan estadísticas con respecto a la mayor concentración de plantaciones de castaños que existe para la provincia del Diguillín (ver Figura 7), la cual posee la mayor concentración de castaños en la región de Ñuble.

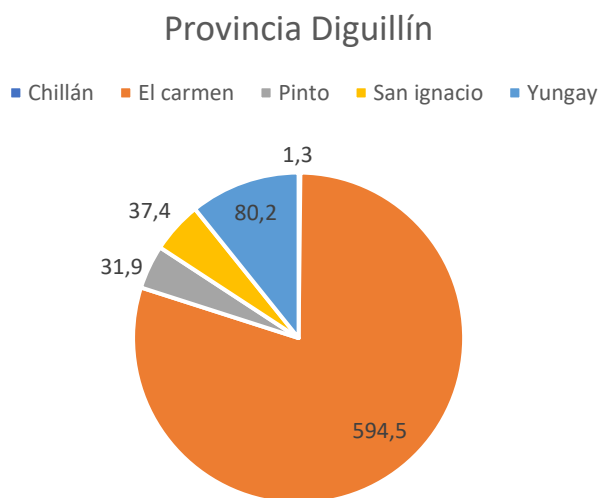


Figura 7. Espacio porcentual empleado por cada comuna de la provincia Diguillín para plantación de castaños (Muñoz, 2016).

Según las estadísticas del gráfico obtenidas del catastro realizado por CIREN para la cuantificación de plantaciones en la Región de Ñuble, la comuna de El Carmen es la que presenta la mayor concentración de plantaciones de castaños en la Provincia del Diguillín. En este sector, en la precordillera de la Región de Ñuble, es común que, entre las praderas sembradas con trigo, remolacha y otros cultivos aparezcan enormes castaños, que existen desde hace décadas, y desde los cuales pequeños productores recolectan sus frutos para venderlos en el mercado interno y, en algunos casos, a intermediarios para exportar (INDAP, 2021).

Desde hace algunos años y en forma creciente, el paisaje de esos árboles frondosos ha comenzado a convivir con huertos de otros tipos de castaños, más pequeños, más productivos y plantados en alta densidad, con variedades

del tipo marrón como los que existen en Europa, que tienen una alta demanda en ese mercado, ya que producen castañas fáciles de pelar y procesar (INDAP, 2021). Según explica Andrés Cox, productor de castañas marrón desde hace ocho años, “El Carmen no solo es la mejor zona apta para la plantación de castaños, sino que también es donde se pueden lograr los mayores rendimientos, por los procesos que vive el castaño entre la floración y el fruto, ya que se produce un muy buen nivel de polinización y cuaja, y tenemos una temperatura muy adecuada” (INDAP, 2021).

## **1.2. Generación de residuos**

Los residuos como las cáscaras no generan ningún tipo de contaminación cuando se trata de pequeñas cantidades debido al carácter biodegradable que poseen. Pero, en cantidades industriales, podrían generar indirectamente impactos negativos sobre los recursos naturales finitos como el agua y la tierra, debido a que las plantaciones de estos frutos ocupan un 25 % de superficie habitable, consumen un 70% del agua, ocasionan un 80% de la deforestación y generan un 30% de la producción de gases de efecto invernadero respecto al porcentaje mundial de plantaciones de frutos secos (Buzby et al., 2012). Considerando que la producción de estos frutos va en alza tanto a nivel mundial como nacional (ver Figuras 1 y 2), es necesario establecer procedimientos viables para valorizar los residuos que se obtienen después del proceso. Para ello, esta investigación se centrará en averiguar potenciales usos ambientales que poseen la cáscara de castañas (*Castanea Sativa*)

considerando el amplio mercado y el aumento sostenido que ha sufrido la exportación de este producto. La castaña, a pesar de tener un crecimiento de producción ralentizado en comparación con otros frutos, el incremento en superficies por hectáreas plantadas aumenta cada año según indica Edmundo Valderrama, presidente de empresa Chilenuit (Mora, 2020), quien reconoce la situación como una oportunidad para potenciar la producción y al mismo tiempo enfrentar ciertos conflictos medioambientales que atañen hoy en día a la sociedad.

Según las estadísticas de la oficina de estudios y políticas agrarias, desde el año 2011 se ha modificado el mercado de las castañas, ya que inicialmente la exportación del fruto era completa, incluyendo su cascara (cc). Sin embargo, hoy en día, el mercado mundial está dominado por los frutos sin cáscara (sc), los cuales representan más del 85% del valor del mercado mundial (International Nut and Dried Fruit, 2020). Esta evolución se ve representada en la Figura 8.

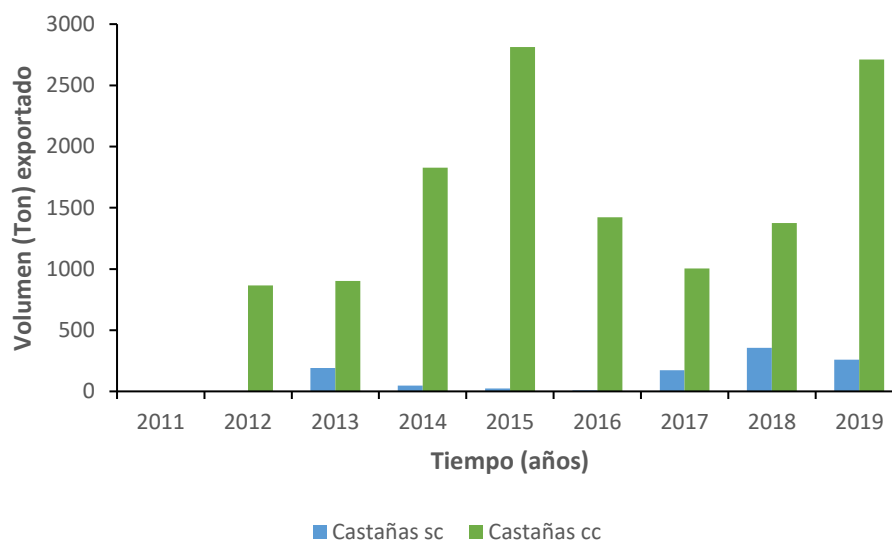


Figura 8. Evolución del mercado de exportación de castañas con cascara (cc) y castañas sin cascara (sc) (International Nut and Dried Fruit, 2020).

Como se puede observar en la Figura 8, con la implementación del mercado de frutos sin cascara se está generando un residuo valioso, el cual actualmente a nivel nacional no se está aprovechando. Si bien la cantidad de cascara de castaña que se genera puede ser limitada, esto no es impedimento para analizar los posibles usos que se pueden generar empleando este residuo.

Este sector resulta ser un reto debido a que proporcionalmente una comuna genera menor cantidad de residuos que las principales ciudades productoras. Sin embargo, como se puede observar en la Figura 9, desde el año 2010 se aprecia una clara tendencia al aumento de plantaciones de estos frutos lo cual

presenta una posibilidad para indagar el potencial de estas cascarras generadas por pequeños agricultores y agrupaciones en la región de Ñuble.

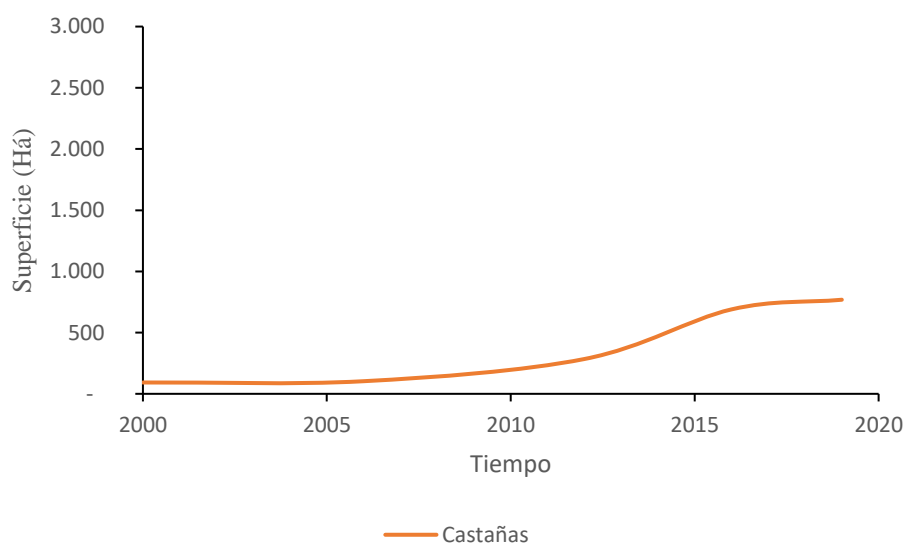


Figura 9. Superficie plantada castaños en la Región de Ñuble entre 2000-2020 (International Nut and Dried Fruit, 2020).

Por ende, esto resulta ser una oportunidad para impulsar la importancia y beneficios a nivel medio ambiental de las cascarras de castaños que actualmente están generando las industrias y las cuales no poseen una utilidad. En esta investigación se analizará la eficiencia de estas cascarras en la remoción de contaminantes en aguas subterráneas debido a la importancia que poseen para el ser humano y el riesgo de contaminación al que se ven expuestas.

### **1.3. Uso de cascaras de castaña en remediación de agua**

El agua subterránea es la fuente más abundante de agua dulce en la superficie terrestre, alcanzando un 97% del agua dulce no congelada. Corresponde al 30,28% de la reserva global física disponible de agua (García et al., 2017). Estas son parte importante del ciclo del agua y base de la seguridad hídrica. De ahí, que su explotación y uso debe ser respetando el criterio de sustentabilidad (Baeza, 2020). Los estudios y conocimiento permanente de estas aguas en las cuencas son relevantes, desde una mirada integral que dé sustento a una mejor toma de decisiones en cuanto a las estrategias y planes eficientes orientados a cuidar las aguas subterráneas (Baeza, 2020) ya que los riesgos por contaminación a los que está sujeto son variados encontrando entre ellos contaminación por vertederos, tanques sépticos, tanques de gas subterráneos con fugas y por el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas (Hermann et al., 2022).

Una investigación realizada en el año 2019 por el departamento de conservación y protección del recurso hídrico realizó un seguimiento de la calidad del agua subterránea en pozos de la región de Ñuble y el Biobío en el cual se detectó concentraciones de hierro y arsénico mayores a las establecidas por la norma chilena N°409 (DGA, 2019) los cuales pueden ser elementos altamente tóxicos para el ser humano.

Otro de los contaminantes que está preocupando a la sociedad científica es el plomo, el cual está presente en altas concentraciones en la ciudad de Coronel

y ciudades aledañas en la región del Biobío debido a la invasiva presencia de industrias en la zona. .Ante esta situación surgió una investigación denominada “Distribución de elementos potencialmente nocivos en el polvo en entretechos de viviendas de la ciudad de Coronel” en el que participó el equipo de trabajo coordinado por el Dr. Pedro Tume, académico de la Facultad de Ingeniería e investigador del Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS) de la UCSC, donde se identificaron altas concentraciones de metales pesados en los techos de viviendas y corrientes de agua de la ciudad en la Región del Biobío, en particular de plomo (Tume, 2022).

Debido a la importante presencia de estos metales surge el tema de esta investigación, en el cual se evaluará el potencial de remoción de la cáscara frente a estos contaminantes.

Los sistemas de producción industrial actuales utilizan hoy en día metales pesados para la extracción de un material o como elemento en el refinado de un producto en particular, lo que en principio da como resultado la obtención del producto deseado con un costo de producción relativamente bajo. Estas operaciones de tipo minero y de fundición, entre otras actividades de tipo industrial y urbana, incrementan de manera sustancial la contaminación por metales pesados en el agua la cual puede rondar cerca de los 200 millones de metros cúbicos diarios generando efectos a nivel de ecosistema y la salud humana debido a su persistencia, bioacumulación y propiedad no

biodegradable, además de su toxicidad incluso a bajas concentraciones (Pabón et al., 2020). De las tecnologías disponibles para reducir la presencia de metales pesados en agua y que ha mostrado aceptación es la adsorción, que gana terreno dentro de las técnicas de tratamiento de efluentes textiles por su eficiencia en la eliminación de colorantes, principalmente para aquellos compuestos estables que no pueden removerse o eliminarse por métodos convencionales (Valladares et al., 2016)

La adsorción es, de entre diversos métodos, uno de los popularmente aceptados por su versatilidad, conveniencia, sencillez, siendo el carbono activado el adsorbente “ideal” para eliminar diversos contaminantes presentes en agua. Sin embargo, el alto costo de producción del carbono activado limita su aplicación en el tratamiento de aguas residuales (Castellanos et al., 2014).

Frente a ello, diversos estudios demuestran la posibilidad de desarrollar materiales con adecuadas capacidades de adsorción a partir de fuentes naturales, despertando el interés para explorar estos materiales alternativos considerados “no-convencionales”, que permitan reducir o eliminar los contaminantes de naturaleza metálica u orgánica, contenidos en aguas residuales (Caviedes et al., 2015). Los adsorbentes no-convencionales (verdes o bioadsorbentes) surgen del aprovechamiento de los materiales de desecho que provienen de la industria alimentaria y agrícola; estos son desechos de fruta, residuos vegetales y plantas (Aranda et al., 2019).

Algunos estudios revelan la función de adsorción de la cáscara de castaño donde fue utilizada como adsorbente para recuperar metales pesados de las soluciones de lavado del suelo (Tejada et al., 2015). Sin embargo, pocos informes se han centrado en el equilibrio y la cinética de cualquier adsorción de metales pesados en esta biomasa (Yao et al., 2010).

Frente a esta falta de información, en el año 2016 se realizó un estudio en China en el cual se analizó el pigmento de la cáscara de castaño (CSP) denominado melanina para el cual se determinó un potencial como adsorbente para el tratamiento de aguas residuales, pero no se puede utilizar en su estado original debido a su solubilidad en agua. Para ello, se desarrolló un nuevo método para convertir el CSP en pigmento de cáscara de castaño insolubilizado (ICSP) por calentamiento, y se evaluó el rendimiento de adsorción de Cu (II) del ICSP. El material fue caracterizado, y el tratamiento térmico provocó deshidratación y pérdida de grupos carboxilo y alifáticas estructuras en CSP. El comportamiento de adsorción cinética obedeció a la ley de velocidad de pseudo-segundo orden, y los datos de adsorción en equilibrio se describieron bien con las isothermas de Langmuir y Freundlich. Frente a los resultados se concluyó que el ICSP se puede utilizar como una fuente renovable, fácilmente disponible, fácilmente producible, ecológica, además de ser un adsorbente económico y eficaz para eliminar metales pesados de entornos acuáticos (Yao et al., 2016).

Este tipo de alternativas eco-amigables permiten responder a los impactos generados por la actividad antropogénica y resultan ser opciones confiables sobre todo cuando se ha puesto un énfasis tan importante en el desarrollo de criterios de estudios para este tipo de residuos orgánicos frente a conflictos ambientales que existen en la matriz agua (Reyes et al., 2016). Estos aspectos son la razón del desarrollo de este informe, en el cual se pretende determinar si el empleo de la cascara de este fruto seco en términos de remediación es alentador para el medio ambiente en una zona local como lo es Ñuble.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Establecer el potencial uso de las cascara de castaña (*Castanea Sativa*) en la remediación de aguas contaminadas por metales pesados.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el potencial de remoción de metales de hierro (Fe), arsénico (As) y plomo (Pb) para la cáscara de la castaña en aguas naturales.
- Evaluar el efecto del pH sobre la remoción de los contaminantes.
- Comparar la eficiencia de remoción de la castaña respecto de otros materiales no convencionales.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Obtención de muestras de cascara de castaña y su pretratamiento**

La recolección de castañas se realizó manualmente dentro del radio urbano y rural de Chillan en la región de Ñuble. Posteriormente fueron llevadas al laboratorio de Biotecnología hidroambiental (LABHI) en donde se procedió a retirar la cascara de la castaña la cual fue sometida a un pretratamiento el cual consistió en 4 partes; lavado de la cascara empleando agua desionizada, secado en un horno Memmert, triturado y tamizado hasta lograr un diámetro de 1,40 mm (Yang et al., 2020).

#### **3.2. Metodología para la toma de muestra del agua de pozo**

El agua de pozo se tomó directamente empleando un bidón de 5 litros el cual posteriormente se almacenó a temperatura de 2°C hasta la realización de los respectivos análisis. Inicialmente se midió una serie de parámetros; solidos disueltos, solidos totales, solidos suspendidos, oxígeno disuelto y conductividad según la Norma Ch°409 (Instituto Nacional de Normalización, 2005). Estos últimos se midieron en un equipo HANNA modelo HI 4522. El pH se midió y modificó empleando un pH-metro utilizando soluciones de NaOH y HCL hasta obtener el rango de pH de 3, 5, 7 y 10. Posteriormente estas muestras a diferentes valores de pH, en conjunto con los metales hierro,

arsénico y plomo obtenidos a través de Merck, se mantuvieron en un agitador orbital modelo Ks 4000.

### **3.3. Metales pesados: Fortificación del agua de pozo con soluciones madre y métodos de análisis**

El agua de pozo empleada durante el análisis se encontraba dentro de todas las normas de calidad de agua potable establecidas, por ende, fue necesario fortificar la concentración de metales en el agua para poder realizar el análisis de adsorción de contaminante.

Cada metal pesado empleado en el análisis disponía de su propio kit de medición el cual consistencia en tiras de ensayo colorimétricas estándar en donde estas eran sumergidas en la solución contaminante y transcurrido un tiempo se coloreaban frente a la detección del contaminante (Yang et al., 2020). El color detectado debió ser sometido a un análisis comparativo entre el color detectado y el color establecido en el rango de medición según La división Life Science de MerckMillipore. Los métodos colorimétricos utilizados fueron el test de hierro N° 110004, test de arsénico N° 117917 y el test de plomo N° 110077.

### **3.4. Procedimiento experimental con el agua de pozo y las cascara de castaña para el hierro II ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y plomo II ( $\text{Pb}^{+2}$ )**

Una vez que la cascara de la castaña estuvo seca, se procedió a analizar muestras de agua de pozo a la cual se le ajustó el pH en el rango previamente

indicado. Posteriormente, se aplicó una alícuota de solución contaminante de hierro y plomo preparada a 10 y 40 ppm respectivamente en conjunto con la cascara de castaña en una relación de 1 gramo de castaña en 20 ml de solución.

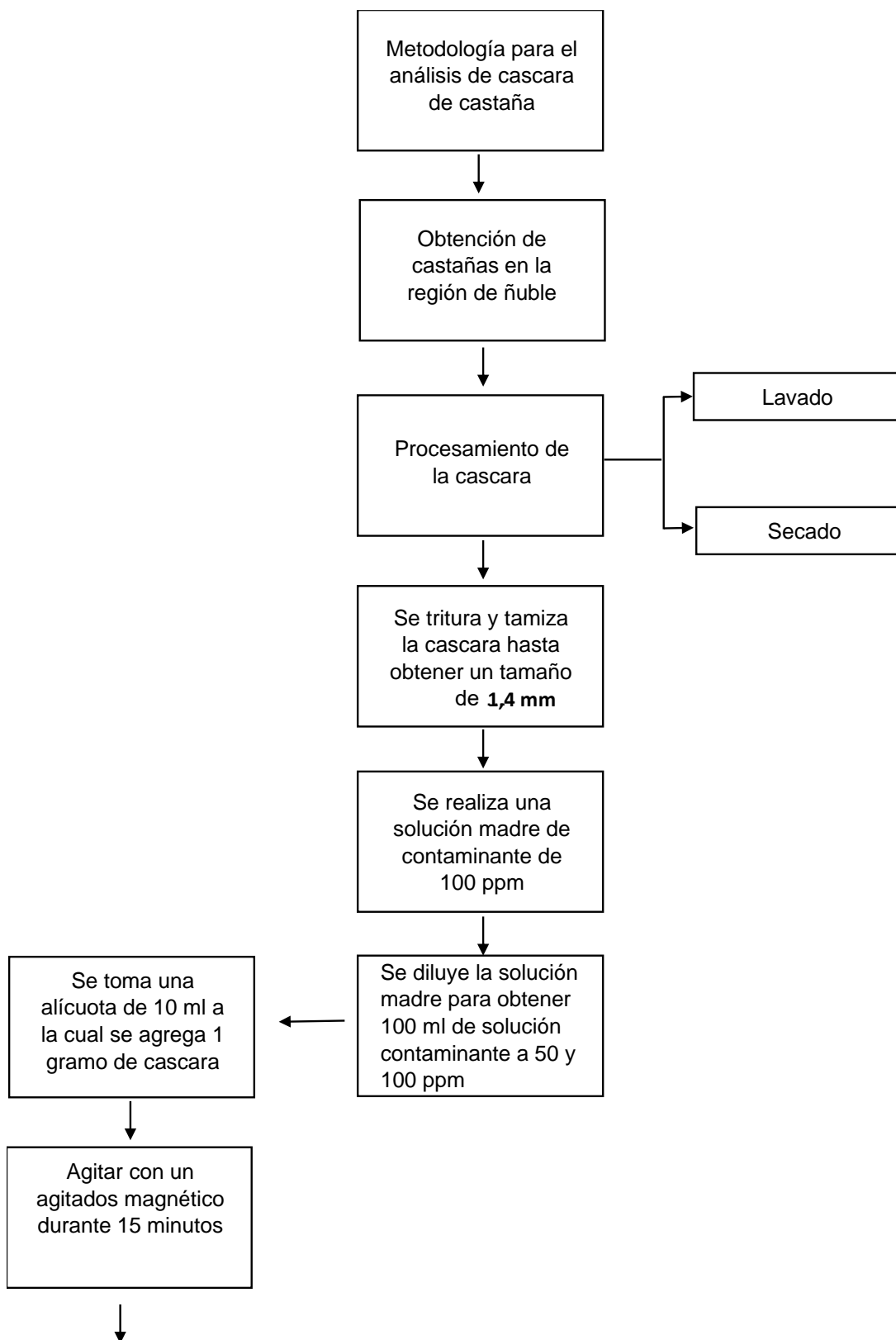
Luego, la suspensión de la solución contaminante con la cascara fue centrifugada a 3500 rpm durante 15 minutos a 25°C para posteriormente medir la adsorción del contaminante a través del método colorimétrico a las 2, 4 y 48 horas de iniciado el proceso de centrifugación en donde la tira de ensayo permitió visualizar un color, el cual debió ser asociado al rango de color que presentaba el kit de medición. Mientras se esperaba al momento de la medición las muestras se mantuvieron en agitación constante a 250 rpm en un agitador orbital modelo Ks 4000 (Çetinkaya et al., 2018).

### **3.5. Procedimiento experimental con el agua de pozo y las cascara de castaña para el arsénico V ( $As^{+5}$ )**

El procedimiento a seguir para el análisis de la concentración de arsénico procede según las instrucciones del método colorimétrico de adsorción a utilizar mencionado anteriormente (Yang et al., 2020). En resumen, se tomaron 5 ml del sobrenadante a concentración 3 mg/L (rango de medición de 0 a 3 mg/L) que fue centrifugado por 15 minutos a 3500 rpm en un agitador orbital modelo Ks 4000 y se añadieron los reactivos As-1 y As-2 contenidos en el kit de medición obtenidos a través de Merck. Posteriormente se añadió la tira de medición sin que esta se introdujera en la solución y se esperó 20 minutos

antes de realizar la comparación visual de la zona de reacción de la tira de ensayo con las zonas de la escala colorimétrica (Yang et al., 2020). Este procedimiento se puede observar con claridad en la Figura 1.

Todas las muestras fueron realizadas por duplicado para disminuir el porcentaje de error en los resultados.



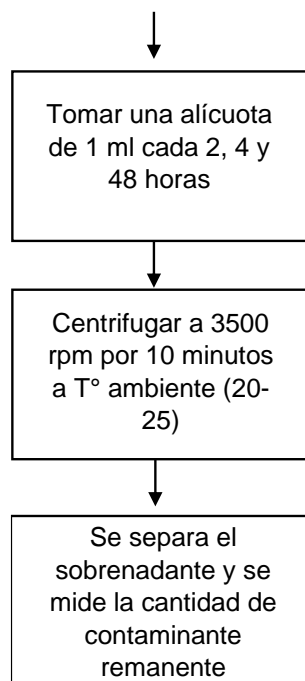


Figura 10. Metodología de aplicación de la cascara de la castaña como adsorbente de metales.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización del agua de pozo utilizada

El agua de pozo empleada en los análisis fue sometida a una caracterización para determinar la calidad del agua, tal como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de agua de pozo empleada en el análisis.

Parámetros	Valor
Oxígeno disuelto	9,81 mg/L
Ph	7,3, limite normativo 6,5 < pH <8,5
Conductividad	182,5 $\mu$ S
Solidos totales (ST)	0,2 mg ST / L
Solidos suspendidos (Ssus)	0,011 mg Ssus / L
Solidos disueltos (SD)	0,189 mg SD / L
Plomo (Pb)	0 mg/L
Arsénico (As)	0 mg/L
Hierro (Fe)	0 mg/L

Estos valores al ser comparados con el límite máximo establecido por la NCh 409 de calidad del agua potable (Instituto nacional de normalización, 2005) corroboraron la utilización de un agua que es apta para consumo humano, por ende, no existen mayores interferentes que modifiquen o interfieran los resultados obtenidos en el estudio experimental. Además, al no ser detectados los metales en estudio, se procedió a generar un agua con los respectivos metales empleando reactivos y soluciones patrón de los elementos.

#### **4.2. Resultados obtenidos para el contaminante Fe, As y Pb**

Inicialmente, se analizaron muestras control mediante las cuales se esperaba detectar anomalías que dificultaran la interpretación de los resultados,

especialmente si las cascara de castaña generan presencia de metales pesados en el agua de pozo. Como se puede observar en la Tabla 2, la medición de metales en cada uno de los controles evidenció que no había rastros de este contaminante en el agua de pozo, agua destilada o que la cascara desprendiera de sí misma estos metales.

Tabla 2. Análisis de muestras control para detección de anomalías.

Control	Resultado
Agua de pozo	Negativo
Agua destilada	Negativo
Agua destilada + cascara	Negativo
Agua de pozo + cascara	Negativo
Solución de hierro	Positivo

#### 4.3. Resultados a concentración 10 ppm de $Fe^{+2}$

Los resultados arrojaron una clara tendencia a la adsorción del hierro por parte de la cascara, la cual consiguió la eliminación del  $Fe^{+2}$  en un máximo de 24 horas para cada pH evaluado.

Para el pH ácido, 3 y 5, la disminución del metal en la solución siguió una tendencia y comportamiento semejante como se puede observar en la Figura 10.

Sin embargo, al aumentar el pH a 7 ver Figura 11 y 12, se observó una reacción de atracción del  $Fe^{+2}$  que ocurre a una velocidad mayor en

comparación con el pH ácido. Esto precisó realizar un análisis sobre la solución de pH 10, debido a que con la carga inicial de contaminante no fue detectada por la tira de ensayo debido a la modificación en el estado de valencia que sufrió el metal. Por lo tanto, se aumentó la concentración de  $\text{Fe}^{+2}$  en la misma solución para que pudiera ser detectada y continuar con el análisis ya que al aumentar la carga contaminante se logró saturar la solución para que la tira de ensayo fuera capaz de detectar el metal. Esto quedó evidenciado en las Figuras 13 y 14.

Todos estos procedimientos fueron repetidos para disminuir el error en los resultados finales, cuyos resultados se pueden observar en la Figura 15.

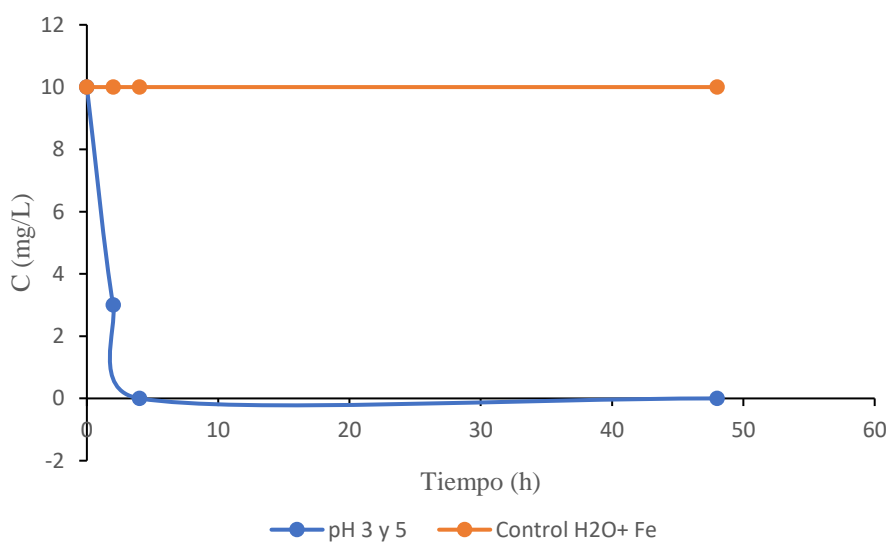


Figura 11. Evolución del Fe en solución frente a cáscara de castaña, a pH 3 y 5

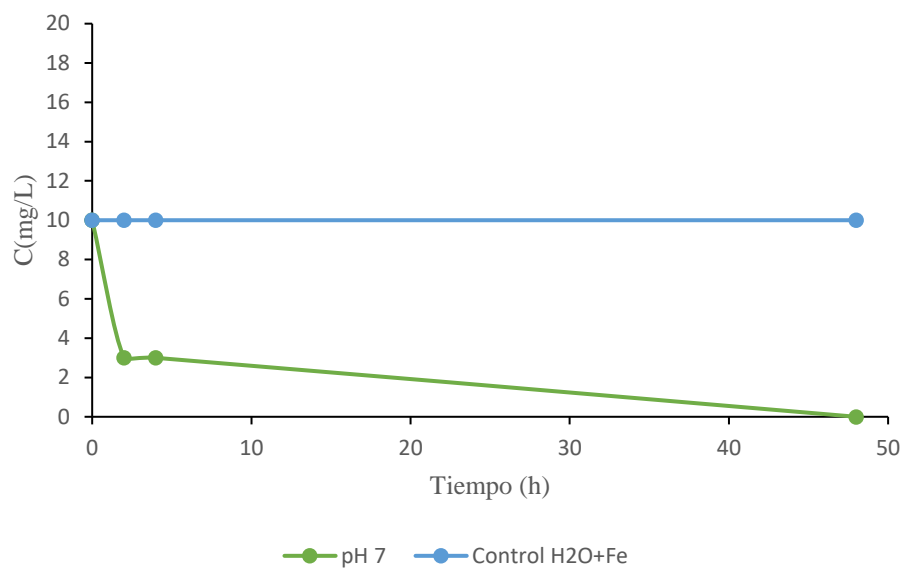


Figura 12. Medición de contaminante hierro a pH 7.

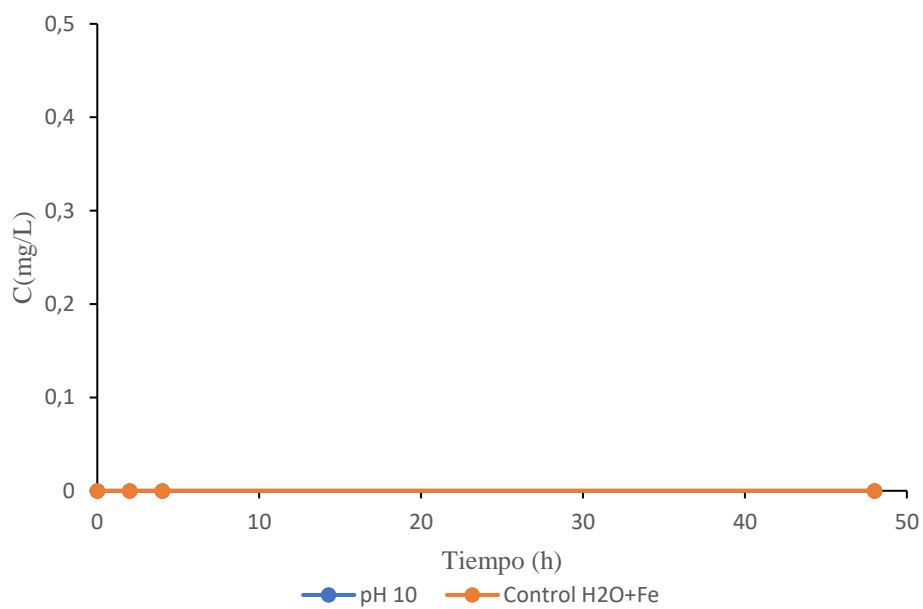


Figura 13. Medición de contaminante hierro a pH 10.

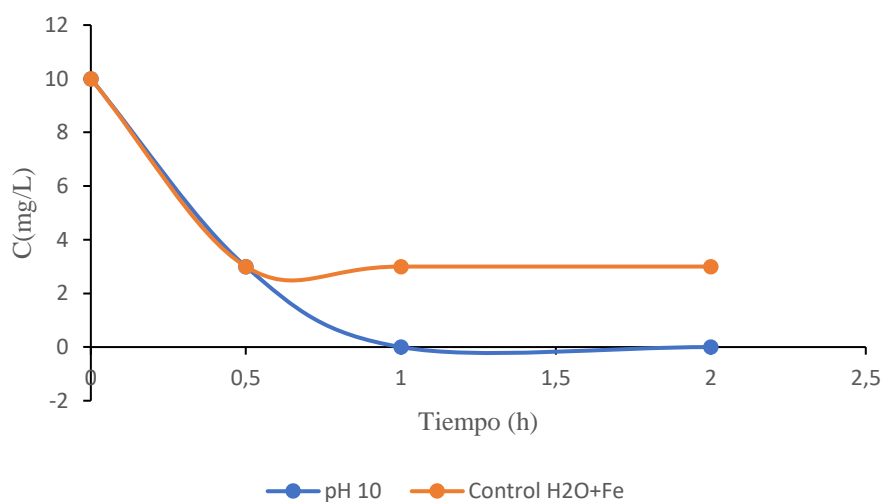


Figura 14. Medición de contaminante a pH 10 una vez aumentada la carga de  $\text{Fe}^{+2}$ .

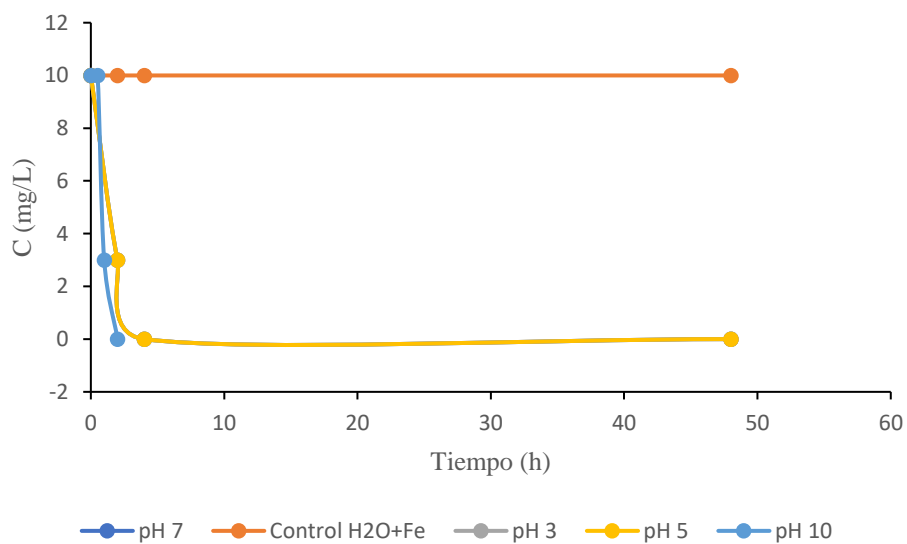


Figura 15. Medición de hierro obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.

#### 4.4. Resultados a concentración 250 ppm de $\text{Fe}^{+2}$

Para evaluar la capacidad de adsorción de las cáscaras a mayor concentración de hierro, se realizó el análisis con una muestra concentrada de 250 ppm de  $\text{Fe}^{+2}$  arrojando una disminución del 90% (Ver Figura 16), observándose un comportamiento análogo a los experimentos realizados a menor concentración. A pesar de no lograr la adsorción total del contaminante en el mismo periodo de tiempo, los resultados obtenidos son prometedores y comprueban eficiencia de las cáscaras para remoción del metal.

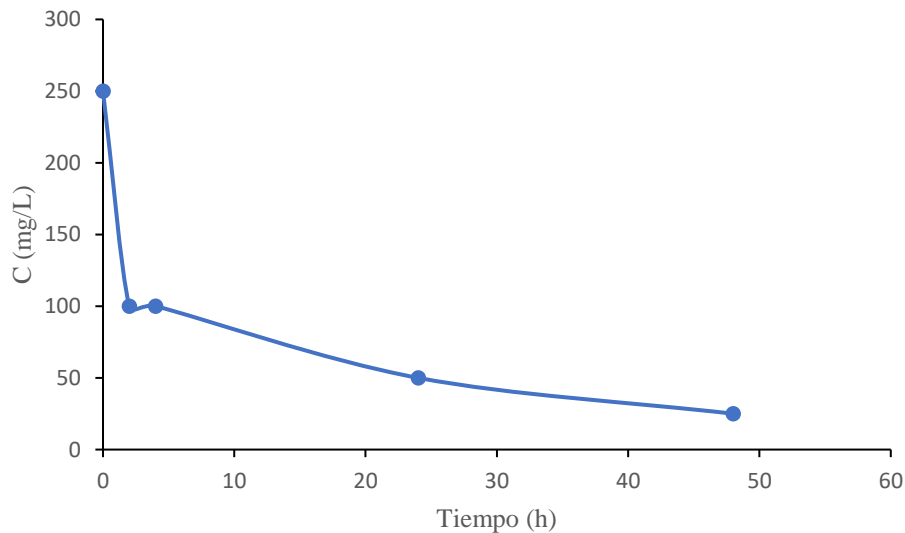


Figura 16. Medición de contaminante de muestra concentrada a 250 ppm.

#### **4.5. Resultados obtenidos para el contaminante arsénico (As) a concentración 3 ppm.**

A diferencia de los resultados obtenidos con el hierro, en este caso se debió realizar una modificación en cuanto al tiempo de procesamiento, debido a que el proceso de adsorción del metal resultó ser más lento, por lo tanto, se emplearon entre 1 y 4 días de análisis. Sin embargo, la tendencia a la disminución del contaminante fue similar al caso del  $\text{Fe}^{+2}$ , presentando mayor disminución del metal a un pH ácido (ver Figura 17 y 18). Aun así, el procedimiento no fue capaz de adsorber en su totalidad el arsénico en ninguno de los rangos de pH analizados obteniendo una disminución mínima de 1 mg/L. No obstante, y tal como con el hierro, el pH ácido continuó generando resultados más eficientes según los experimentos de esta tesis y según la literatura científica (Pinheiro et al., 2019)

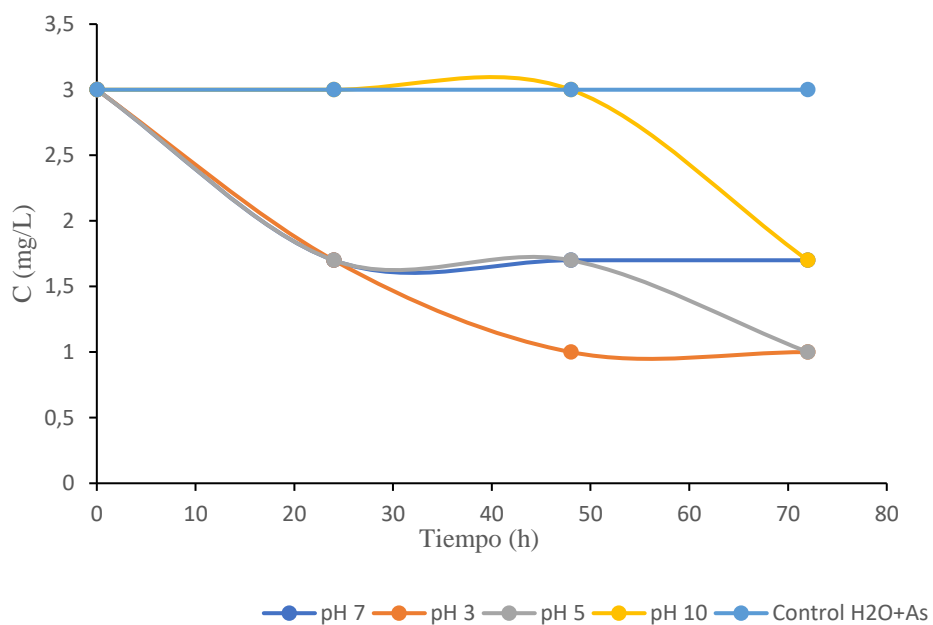


Figura 17. Medición de arsénico en un rango de pH ácido/base.

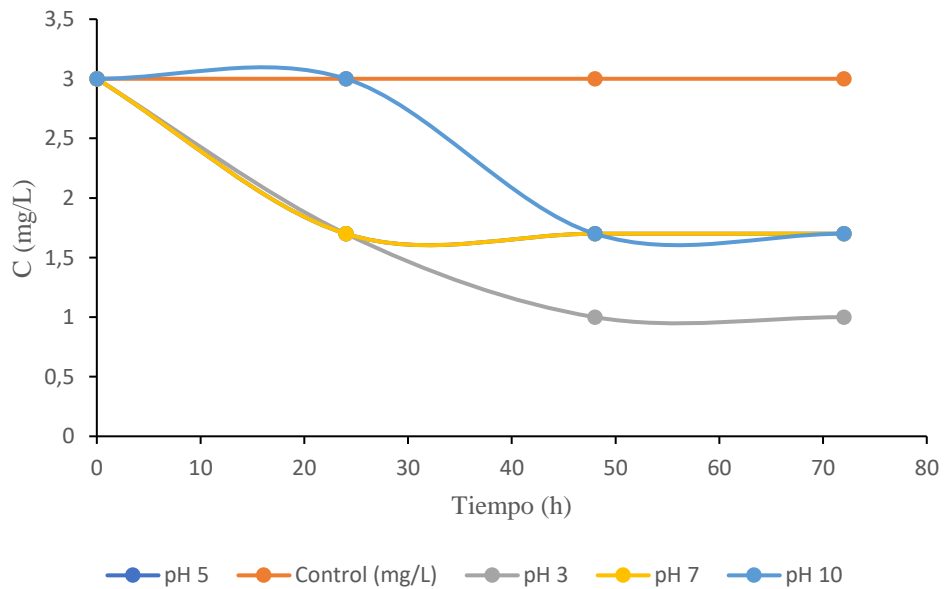


Figura 18. Medición de arsénico obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.

#### **4.6. Resultados para el contaminante plomo (Pb) a concentración 40 ppm.**

El comportamiento del contaminante frente a la cascara de la castaña siguió una tendencia similar al contaminante hierro, en cuanto disminución de concentración y tiempo de procesamiento.

Como se observa en la Figura 19 y 20, la adsorción que se produjo a pH 3 y pH 5, ocurrió en un corto tiempo de exposición a la cascara y se obtuvo la disminución del contaminante a índices que el método no fue capaz de detectar, considerando un test con rango de 0-500 mg/L. Debido a las condiciones de procedimiento que presentaba el método colorimétrico empleado, este no permitió la realización del análisis a pH 7 y 10 debido a que al aumentar el pH a un valor superior a 5,5 se generaba un compuesto denominado hidróxido de plomo el cual no lograba ser detectado por la tira de ensayo puesto que el método no era capaz de medir complejos ni compuestos orgánicos de plomo.

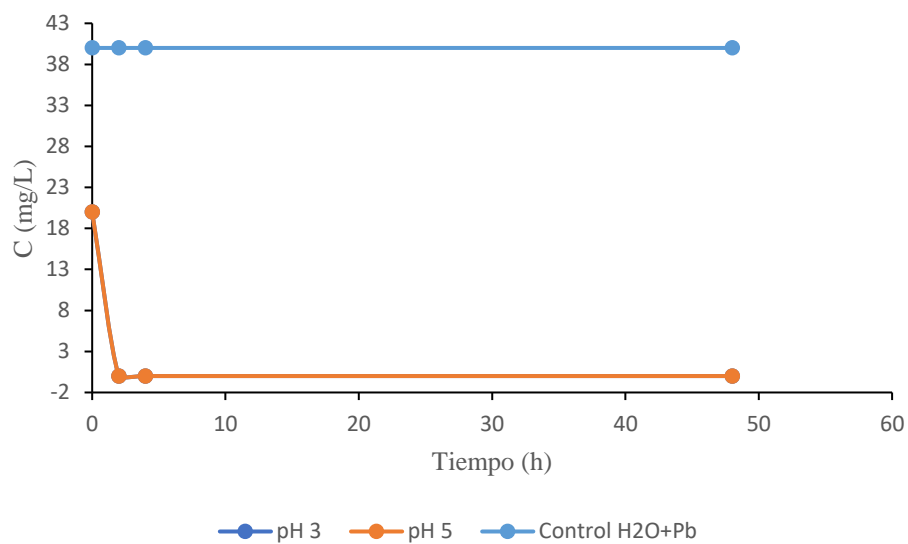


Figura 19. Medición de plomo en un rango de pH ácido frente a la acción de la cascara de la castaña.

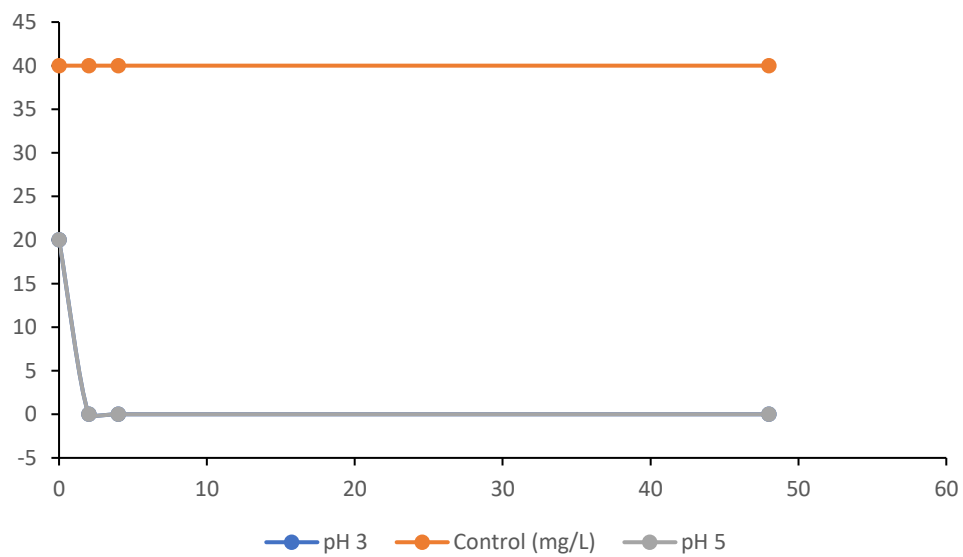


Figura 20. Medición de plomo obtenida para un segundo análisis de adsorción de contaminante.

#### **4.7. Remoción de metales por la cáscara**

El hierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre. Generalmente existe en tres estados de oxidación: 0, +2 y +3, los cuales se denominan así: hierro metálico ( $\text{Fe}^0$ ), hierro ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y hierro férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ). En la naturaleza, el ciclo del hierro se da entre la forma ferrosa y férrica. Bajo condiciones aeróbicas, el hierro se encuentra usualmente en su forma más oxidada ( $\text{Fe}^{+3}$ ), en esta forma, el hierro se caracteriza por tener una solubilidad baja en sistemas acuosos. Bajo condiciones anaeróbicas el  $\text{Fe}^{+3}$  es reducido a la forma de  $\text{Fe}^{+2}$  y en este estado el hierro tiene una solubilidad alta (Ávila, 2010).

El medio básico y la presencia de  $\text{O}_2$  (g) facilitan la oxidación del  $\text{Fe}^{+2}$  a  $\text{Fe}^{+3}$  cambiando la apariencia de la disolución y permitiendo la posibilidad de obtener el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (s) de color rojizo en diferentes tonalidades. Esta misma oxidación puede ser acelerada usando un oxidante fuerte como el agua oxigenada (Martínez., et al 2016). Debido a la oxidación que sufre el hierro (II) a hierro (III) al entrar en contacto con una solución acuosa alcalina, la tira de ensayo no fue capaz de detectarlo puesto que el método colorimétrico empleado solo es capaz de detectar el hierro (II). Con el transcurso de las horas se generó un color negro debido a que la basicidad de la solución oxidó el  $\text{Fe}^{+2}$

a  $\text{Fe}^{+3}$  lo cual con el tiempo pasa a formar compuestos del tipo  $\text{FeO}(\text{OH})$  (Martínez., et al 2016).

Para pH ácidos se observó que en el transcurso de 24 horas no quedaban rastros medibles de hierro en las muestras, esto debido a la estructura que posee la cascara de la castaña, en la cual se encuentran lignina, celulosa y hemicelulosa que contienen grupos funcionales capaces de unirse a contaminantes orgánicos e inorgánicos (Pérez, 2020). Además, el pH ácido promueve una alta velocidad de adsorción debido a la reducción del oxígeno que ocurre en la reacción y la alta concentración de protones disponibles, debido a la acidez del agua (Chandia et al., 2009).

Para el contaminante plomo fue necesario restringir las mediciones a un pH ácido de 2 a 5. Esto debido a que durante el proceso de adsorción a pH alcalinos superiores a 5,5 se forma hidróxido de plomo ( $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ) generando la precipitación del metal, lo cual, impide que los sitios de contacto en la superficie de la biomasa se enlacen con la especie química, inhibiendo el proceso de Biosorción y dificultando el proceso de medición ya que el método colorimétrico empleado no detecta plomo unido en forma de complejo ni compuestos orgánicos de plomo (Cuizano et al., 2010).

La remoción de contaminante plomo alcanzada es similar a la obtenida en el estudio *Comparative adsorption of Pb(II) and Cd(II) ions on chestnut shell in aqueous system* realizado en el año 2018 en donde se logró medir la

Biosorción final de 9,4 mg/L de plomo la cual poseía una concentración inicial de 13 mg/L en un rango de tiempo de 30 min (Çetinkaya et al., 2018)

En el caso del arsénico, los resultados fueron igualmente eficientes, pero con tiempos de procesamiento mayores, en comparación con los metales hierro y plomo. Esto, debido a que la capacidad de remoción de metales estructuralmente estables va a depender de ciertos parámetros controlables en el proceso de adsorción como lo son el pH, el tamaño de partícula, la temperatura, y la concentración de la biomasa (Sun et al., 2014)

El arsénico al poseer una estructura con hidroxilos genera una red que protege a la molécula de ser interceptada por mecanismos simples, como lo son los adsorbentes no convencionales, por ende, para este metal resulta más complejo el proceso de adsorción sobre todo si el adsorbente a utilizar no ha tenido un proceso de activación (Iliina et al., 2009).

Esta adsorción, ocurre por la generación de enlaces iónicos, la cual ocurre entre un metal y un no metal con carga opuesta, entre el arsénico que en este caso es un catión con carga +5 y los iones hidroxilos que presenta la membrana de la cascara de castaña (Tejada et al., 2015). La transferencia de electrones genera el enlace que retiene en la superficie de la cascara el contaminante (Begazo et al., 2019).

#### **4.8. Comparación con otros estudios**

Como se mencionó anteriormente en este informe, la reducida cantidad de plantaciones de castaños respecto de otros frutos secos han limitado las investigaciones de remoción de contaminante empleando las cascaras de la castaña, por ende, la comparación con otros resultados está acotada a contaminantes específicos, los cuales de igual forma servirán para comprender la capacidad adsortiva que posee este residuo agroindustrial.

Dentro de los estudios que se han realizado en la actualidad, se encuentra una investigación de remoción de contaminante Cu (II) empleando la cascara de castaña en el cual se disminuyó la concentración de 50 mg/L a 12,56 mg/L empleando un pH 5 en un rango de tiempo de 1 hora (Cobas, 2016). Entre ellos, también se pueden encontrar estudios utilizando otro tipo de residuos agroindustriales en la remoción de contaminantes en aguas, tales como el review de Quiñones, E., C. Tejada, C. Arcia y V. Ruiz. (2013). En esta revisión, se identifican los bioadsorbentes extraídos de biomásas lignocelulósicas utilizadas en la remoción de dos metales pesados, que presenta una amplia toxicidad para el ambiente. Se evaluó la capacidad de remoción de estos, destacando aquellos en los que se han obtenido altos porcentajes de remoción, mostrando la cinética aplicada en estos experimentos. Se encontró, que los bioadsorbentes más usados incluyen residuos de madera, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales y cítricos. Para la remoción de plomo (II), el bagazo de caña de azúcar resultó tener una capacidad de remoción de 333

mg/g y para el níquel (II), la corteza de Acacia, una capacidad de remoción de 294,1 mg/g. Se encontró además que, en la mayoría de los experimentos, la cinética del proceso de adsorción es regida por la ecuación cinética de pseudo-segundo orden. Se recomienda el diseño de plantas piloto para la remoción de iones metálicos con las biomásas que mostraron mayor capacidad de adsorción, con el fin de que estos procesos puedan ser llevados a escala industrial (Quiñones et al., 2013).

En otros estudios se ha considerado el enfoque minero industrial contemplando la contaminación por metales pesados que abarca este sector. Entre ellos podemos encontrar la investigación realizada por Fernández, M., D. Florez, M. Yactayo, D. Lovera, J. Quispe, C. Landauro y W. Pardave (2020). El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción del Cu, Fe y Pb del efluente minero-metalúrgicos a escala de laboratorio mediante la aplicación de un filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas (cáscaras de plátano, coco y naranja). Se trabajó a un pH de 7.3, tiempo de contacto de 3 horas y tamaño de partícula de 0.250 mm, en todos los tratamientos. Los resultados muestran que para el Cu el mejor tratamiento fue (T2), con 100 gr de cáscaras de coco (96.36%); para el hierro el tratamiento seis (T6) compuesto por coco-naranja (50 gr de cada uno) con una eficiencia de (92.05%); y el plomo presentó una mayor remoción del 97.34% con los tratamientos tres (T3) y seis (T6) compuesto por 100 gr de naranja y coco-naranja (50 gr de cada uno), respectivamente. Los datos se ajustaron mejor al

modelo de regresión cúbica especial, siendo para el cobre el valor P de 0.000305 y el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0.790156. Para el hierro, el valor P 0.000000 y coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0.930029. El valor P del plomo fue de 0.000034 y el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0.719867. Considerando que el valor de R<sup>2</sup>, es mejor mientras más se acerca a 1, y que ( $p < 0,05$ ) es significativo (Fernández et al., 2020).

Como se mencionó anteriormente, los residuos agroindustriales abarcan una importante variedad de residuos no solo cascara y no necesariamente estas deben ser originadas por frutos secos, sino también por otro tipo de plantas, dentro de los cuales encontramos el árbol denominado moringa oleífera el cual se empleó para realizar una investigación llevada a cabo por Losada, L.A., M.A. Sotto y O.F. Artunduaga (2015). En este estudio se considera la valorización de residuos vegetales como bioadsorbentes, para la eliminación de metales pesados de efluentes líquidos, está adquiriendo cada vez mayor relevancia en el campo medioambiental. La bioadsorción, es considerada un método eficaz y de bajo costo frente a técnicas convencionales lo cual genera interés al momento de realizar estudios de este tipo. Los resultados que se obtuvieron en la investigación de la cáscara de la Moringa oleífera como bioadsorbente para la eliminación de Cromo (Cr) de una solución de Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) permitieron lograr condiciones óptimas de reducción del metal alcanzando porcentajes de eliminación del 90%, para Cr a un pH de 3. Los datos de adsorción se analizaron usando el método colorimétrico

Difenilcarbazida obteniendo resultados que muestran el gran potencial de la utilización de los bioadsorbentes obtenidos a partir de *Moringa oleífera* en la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados (Losada et al., 2015).

Tabla 3. Cuadro comparativo de remoción de metales frente a los resultados obtenidos

Porcentaje de remoción de metales obtenidos		
Hierro	99,97%	
Arsénico	66,67%	
Plomo	99,97%	
Porcentajes de remoción de metales obtenidos de la literatura empleando otros residuos agroindustriales		
Metal	Remoción	Residuo empleado
Cobre	74,8%	Cascara de castaña
Plomo	78,9%	Bagazo de caña de azúcar
Níquel	65,4%	Bagazo de caña de azúcar
Hierro	92,05%	Coco-naranja
Cromo	90%	Moringa oleífera

## 5. CONCLUSIÓN

El potencial de remoción de la cascara de castaña obtenido de los metales hierro, plomo y arsénico presenta un alto rendimiento respecto al remover más del 50% del contaminante en los tres casos analizados (hierro, plomo y arsénico). En el caso del hierro y plomo, con los que se obtuvo los porcentajes de remoción más altos, fue posible asimilar los resultados con cualquier

tratamiento convencional de remoción de contaminantes. Por otro lado, la cascara frente al metal arsénico presentó una acción de disminución inferior en comparación a los dos elementos mencionados, sin embargo, son resultados que podrían mejorar la capacidad de adsorción de arsénico a través de una etapa de activación.

Este proceso de remoción de contaminantes manifestó una importante variable que influyo en la adsorción, el cual consiste en el pH empleado durante los análisis. Este factor resulto ser unánime al momento de establecer que los procedimientos más eficientes tuvieron lugar empleando un pH acido de 3, en cambio, al emplear un pH básico se generaron dificultades operacionales tales como las reacciones de los metales con hidroxilos, provocando incapacidad en el método colorimétrico para detectar el metal.

Al emplear otro tipo de materiales naturales (no convencionales) en la remoción de contaminantes en agua como cascara de naranja, cascara de cacao, cascara de plátano, entre otros, se ha conseguido disminuir la presencia de los metales. Sin embargo, los valores obtenidos en esta investigación se posicionan sobre la mayoría de los valores analizados con anterioridad, por ende, es posible establecer el potencial que posee la cascara de la castaña en la aplicación de remoción de metales en agua.

Finalmente, indicar que, si bien esta materia aún se encuentra en estudio, los resultados que se han obtenido hasta la actualidad demuestran claramente que emplear residuos naturales podría ser una alternativa de remoción de

contaminante, la cual con mayor apoyo científico podría en un futuro permitir establecer un sistema de remoción de contaminante como los que existen en la actualidad, o considerar esta opción como parte de un sistema de tratamientos convencional, sobre todo por el hecho de la reducción notable de costos que existe y el adicional de utilizar para el proceso, materia que no tiene ninguna función y que simplemente se considera un desecho.

## 6. LITERATURA CITADA

1. Antmen, Z.F. 2019. Exploitation of peanut and hazelnut shells as agricultural industrial wastes for solid biofuel production. *Fres. Environ. Bull.* 28(3): 2340-2347.
2. Aranda-Figueroa, M.G., M.G. Valladares-Cisneros y R.J. Romero. 2019. Aplicación de adsorbentes de origen vegetal en la remoción de colorantes en agua Biobío [en línea]. *Inventio* 15(37). <<http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1210/720-5055-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 02 julio 2022].
3. Ávila, L.M. 2010. Estudio del efecto de la recirculación del hidróxido de hierro en el tratamiento biológico de aguas residuales. Tesis de grado, Magíster en Ingeniería Civil con Énfasis en Gestión Ambiental. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
4. Baeza, E. 2020. Importancia de las aguas subterráneas y experiencias chilenas y extranjeras sobre su gestión. Casos de Chile, México, Europa, Asia, Estados Unidos de América, Reino Unido, Nueva Zelanda y Etiopía [en línea]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28611/1/Informe\\_Gestion\\_Aguas\\_Subterranneas.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28611/1/Informe_Gestion_Aguas_Subterranneas.pdf)>. [Consulta: 28 agosto 2022].

5. Begazo, Y.P., S.J. Pareja. 2019. Biosorción de arsénico utilizando biomasas secas en aguas superficiales. Tesis, Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Arequipa, Perú.
6. Bravo, J. 2012. Industria de frutos secos, evolución destacada y amplio potencial [en línea]. ODEPA, Chile. <<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/2839/6788.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 08 agosto 2022].
7. Buzby, J.C., J. Hyman. 2012. Total and per capita value of food loss in the United States - Comments. Food Policy 37(5): 561-570.
8. Castellanos, S.J., M. Tusarma. 2014. Evaluación físico-química por el método de adsorción-coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa Textil CO&TEX S.A.S. Trabajo de grado, Químico Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química. Pereira, Colombia.
9. Caviedes, D.I., R.A. Muñoz, A. Pedormo, D. Rodríguez e I.J. Sandoval. 2015. Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. Rev. Ing. Reg. 13(1): 73-90.

10. Cerpa, S. 2020. Plan estratégico de marketing internacional para una comercializadora de frutos secos. Trabajo científico, Magíster en Marketing Internacional. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Postgrado de Marketing Internacional. Buenos Aires, Argentina.
11. Chandía, F., S. Hernández. 2009. Corrosión del hierro en distintos tipos de aguas: Una propuesta experimental. *Cienc. Ahora* 12(24): 52-57.
12. Cobas, M. 2016. Aplicación de técnicas físico-químicas y microbiológicas para la degradación de contaminantes. Memoria de tesis, Doctor Internacional. Universidad de Vigo, Departamento de Ingeniería Química, Programa de Doctorado en Ingeniería Química. Vigo, España.
13. Cuizano, N.A., U.F. Reyes, S. Domínguez, B.P. Llanos y A.E. Navarro. 2010. Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Rev. Soc. Quím. Perú* 76(2): 123-130.
14. Çetinkaya, S., S. Targan and V.N. Tirtom. 2018. Comparative adsorption of Pb(II) and Cd(II) ions on chestnut shell in aqueous. *Chem. Ecol.* 34(7): 640-654.
15. DGA (Chile). 2019. Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las Regiones de Ñuble y el Biobío. S.D.T. N°418. DGA. DCPRH. Santiago, Chile.

16. Fernández, M., D. Florez, M. Yactayo, D. Lovera, J. Quispe, C. Landauro y W. Pardave. 2020. Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cascara de frutas. *Aibi Rev. Investig. Adm. Ing.* 8(1): 21-28.
17. Fundación para la Innovación Agraria. 2018. Estudio FIA sobre castañas ve potencial productivo en Región del Biobío [en línea]. FIA, Chile. <<http://www.fia.cl/estudio-fia-sobre-castanas-ve-potencial-productivo-en-region-del-biobio/>>. [Consulta: 02 julio 2022].
18. García, P., J.F. Candía, J.C. Salgado, G. Tapia y A. Lillo. 2017. Inventario nacional de acuíferos. Informe técnico. SDT N°403. MOP. DGA. Santiago, Chile.
19. Hermann, E., E. Prunes. 2022. ¿Qué es el agua subterránea y porque es tan importante? [en línea]. World Wild Life. <<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-agua-subterranea-y-por-que-es-tan-importante>>. [Consulta: 26 julio 2022].
20. Ilina, A., J.L. Martínez-Hernández, E.P. Segura-Ceniceros, J.A. Villareal-Sánchez y K.M. Gregorio-Jáuregui. 2009. Biosorción de arsénico en materiales derivados de maracuyá. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(4): 201-216.
21. INDAP (Chile). 2021. Agrupación Marrón Andino de El Carmen moderniza infraestructura para exportar sus castañas [en línea]. INDAP, Chile.

<<http://www.indap.gob.cl/noticias/agrupacion-marron-andino-de-el-carmen-moderniza-infraestructura-para-exportar-sus-castanas>>.

[Consulta: 21 julio 2022].

22. INIA (Chile). 2018. Castaño europeo una alternativa de alto potencial para el sur de Chile [en línea]. INIA, Chile. <<https://web.inia.cl/wp-content/uploads/2018/01/Casta%C3%B1o-alternativa-2.pdf>>.

[Consulta: 13 junio 2022].

23. Instituto Nacional de Normalización. 2005. Agua potable - Parte 1 - Requisitos. NCh 409/1. Of 2005. Santiago, Chile.

24. International Nut and Dried Fruit. 2020. Nuts & Dried fruits statistical yearbook 2019/2020. INC. Reus, Spain (Documento de trabajo, Inc@nutfruit.org).

25. Losada, L.A., M.A. Sotto y O.F. Artunduaga 2015. Remoción de cromo hexavalente utilizando cáscara de Moringa Oleífera como bioadsorbente. Nova 1(1): 74-87.

26. Machino, S. 2022. Níquel, cobre, cromo, zinc y arsénico: Identifican metales pesados en viviendas de Coronel [en línea]. UCSC, Chile. <<https://www.ucsc.cl/noticias/niquel-cobre-cromo-zinc-y-arsenico-estudio-identifica-metales-pesados-en-viviendas-de-coronel/>>.

[Consulta: 18 agosto 2022].

27. Martínez-Troya, D., J.J. Martín-Pérez. 2016. Propuesta para la diferenciación experimental entre óxidos e hidróxidos usando compuestos de cobre. *Bórax* (1): 1-60.
28. Mora, E. 2020. ProChile destaca exportación de castañas desde Región de Ñuble [en línea]. *Diario Concepción, Chile*. <[https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/11/mercadoCNFSD11042016.pdf](https://www.diarioconcepcion.cl/economia/2020/06/02/prochile-destaca-exportacion-de-castanas-desde-region-de-nuble.html#:~:text=Avisos%20Legales-,ProChile%20destaca%20exportaci%C3%B3n%20de%20casta%C3%B1as%20desde%20Regi%C3%B3n%20de%20%C3%91uble,3%20millones%20el%20a%C3%B1o%202019).>. [Consulta: 26 junio 2022].</li><li>29. Muñoz, M. 2016. Mercado de los frutos secos y deshidratados [en línea]. ODEPA, Chile. <<a href=)>. [Consulta: 07 agosto 2022].
30. Pabón, S.E., R. Benítez, R.A. Sarria-Villa y J.A Gallo. 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* 14(27): 9-18.
31. Pérez, Á.L. 2020. Empleo de residuos agro-industriales o urbanos como adsorbentes para la eliminación de contaminantes en muestras de

agua. Trabajo de fin de grado. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales. Jaén, España.

32. Pinheiro, A.M., M.R. Salla y M.L. Bolanos. Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *Ingeniare Rev. Chil. Ing.* 27(2): 223-235.
33. Quiñones, E., C. Tejada, C. Arcia y V. Ruiz. 2013. Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasa lignocelulósicas: Una revisión. *Rev. U.D.C.A. Act. Div. Cient.* 16(2): 479-489.
34. Reyes, Y.C., I. Vergara, O.E. Torres, M. Díaz y E.E. González. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Rev. Ing. Investig. Desarro.* 16(2): 66-77.
35. Sun-Kou, M.R., D. Obregón-Valencia, A. Pinedo-Flores, A.L. Paredes-Doig y J. Aylas-Orejón. 2014. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Rev. Soc. Quím. Perú* 80(4): 225-236.
36. Tejada-Tovar, C., A. Villabona-Ortiz y L. Garcés-Jaraba. 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas* 18(34): 109-123.
37. Valladares-Cisneros, M.G., C. Valerio-Cárdenas, P. de la Cruz y R.M. Melgoza. 2016. Adsorbentes no convencionales, alternativas

- sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Rev. Ing. Univ. Med.* 16(31): 55-73.
38. Vicencio, J. 2020. Se cerró la llave: 40% de déficit de lluvia a la fecha y La Niña podría empeorar la situación [en línea]. *Meteochile Blog*. <<https://blog.meteochile.gob.cl/2020/09/17/se-cerro-la-llave-40-de-deficit-de-lluvia-a-la-fecha-y-la-nina-podria-empeorar-la-situacion/>>. [Consulta: 15 julio 2022].
39. Yang, Y., F. Sun, J. Li, J. Chen and M. Tang. 2020. The effects of different factors on the removal mechanism of Pb (II) by biochar-supported carbon nanotube composites. *RSC Adv.* 10: 5988-5995.
40. Yao, Z.-Y., J.-H. Qi and L.-H. Wang. 2010. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the biosorption of Cu (II) on the chestnut shell. *J. Hazard. Mat.* 174(1-3): 137-143.
41. Yao, Z.-Y., J.-H. Qi, Y. Hu and Y. Wang. 2016. Insolubilization of chestnut shell pigment for Cu (II) adsorption from water [en línea]. *Molecules* 21(4): 405(Art. N°). <<https://www.mdpi.com/1420-3049/21/4/405/htm>>. [Consulta: 18 agosto 2022].