

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Aplicación de Cascara de Huevo Calcinada para la Remoción de metales pesados en soluciones acuosas.

Por:

Anais Manuela Mesias Evangelista

Asesor:

PhD. Noe Benjamín Pampa Quispe

Lima, diciembre de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PhD. Noe Benjamín Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Aplicación de Cascara de Huevo Calcinada para la Remoción de metales pesados en soluciones acuosas." constituye la memoria que presenta el estudiante Anais Manuela Mesias Evangelista para aspirar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, al 02 de diciembre del año 2019.



PhD. Noe Benjamín Pampa Quispe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 2 día(s) del mes de diciembre del año 2019 siendo las 12:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): PhD Leonor Segunda Bustuza Cabala el (la) secretario(a): Mg. Iliana del Carmen Gutierrez Rodriguez y los demás miembros: Ing. Samuel Tito Dela Cruz Napan, Mg. Ronald Hugo Rosales Meza y el (la) asesor(a) Dr Noe Benjamin Pampa Quispe



con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Aplicación de cascara de huevo calaminada para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas

de los (las) egresados (as): a) Anais Manuela Mesias Evangelista
b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a la candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por la candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Anais Manuela Mesias Evangelista

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a la candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Leonor Bustuza
Presidente/a

Pampa Quispe
Asesor/a

Anais Mesias
Candidato/a (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

Candidato/a (b)

Aplicación de Cascara de Huevo Calcinada para la Remoción de metales pesados en soluciones acuosas.

APPLICATION OF EGG SHELL CALCINED FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS IN AQUEOUS SOLUTIONS.

MESIAS EVANGELISTA ANAIS MANUELA *

§EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

Resumen

El consumo mundial de huevos de gallina es tremendamente alto, solo en el Perú el consumo per cápita es de 224 unidades, produciendo grandes cantidades de desechos de cascara de huevo, terminado principalmente en rellenos sanitarios o vertederos, de esta manera desperdiciando sus propiedades para diversas aplicaciones, en estos últimos años se ha estado aplicando como adsorbente de metales pesados en aguas residuales, ya que no están siendo tratadas adecuadamente, ocasionando un grave problema ambiental, así mismo existen varios métodos sugerido e investigado, no obstante el proceso de adsorción es uno de ellos y ha demostrado ser una de las mejores tecnologías de tratamiento de agua de todo el mundo. Lo que incentiva a buscar nuevas alternativas factibles económicamente y al alcance de todos. Este artículo de revisión tuvo como objetivo dar una breve explicación sobre la adsorción y el uso de cascara de huevo calcinada como adsorbente para la remoción de contaminantes existentes en el agua mediante información básica sobre la cascara de huevo, la adsorción y su aplicación como adsorbente, así mismo proporcionar algunos resultados sobre investigaciones relacionadas a la capacidad de remoción de metales pesados en soluciones acuosas, en conclusión la cáscara de huevo no puede ser considerado simplemente como un desperdicio y puede ser utilizado de manera efectiva para su aplicación como adsorbente y para muchas otras cosas.

Palabras clave: *cascara de huevo, calcinación, adsorbente, metales pesados, remoción.*

Abstract

Global consumption of hen eggs is tremendously high, in Peru alone per capita consumption is 224 units, producing large quantities of eggshell waste, finished mainly in landfills or landfills, in this way wasting its properties for various applications, in recent years it has been being applied as an adsorbent of heavy metals in wastewater, since they are not being treated properly, causing a serious environmental problem, so there are also several methods suggested and researched, however the adsorption process is one of them and has proven to be one of the best water treatment technologies in the world. Activated charcoal is considered an adsorbent, but it should be noted that its commercial cost is high and its low availability is limited, which incentivizes us to look for new economically feasible and available alternatives. This review article aimed to provide a brief explanation on adsorption, activated charcoal and the use of egg shell-based activated charcoal as an adsorbent for the removal of existing contaminants in water using basic information on egg shell, adsorption and its application as adsorbent, as well as providing some results on research related to the ability to remove heavy metals in aqueous solutions, in conclusion the eggshell cannot be considered simply as a waste and can be used effectively for your application as adsorbent and for many other things.

Keywords: *eggshell, calcination, adsorbent, heavy metals, activated, removal.*

*Correspondencia de autor: km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima. E-mail: anaismesias@upeu.edu.pe

1. Introducción

El 70% de la superficie del planeta es cubierta por agua (Solis y Lopez, 2003). Solo el 2.5% de agua es dulce y el otro 97.5% es agua de mar (Fernández, 2012). Por lo tanto, D. Hinrichsen, et al., y R. B. Jackson, et al., (como se citó en Blanco y Torre, 2017) afirma que la humanidad tiene solo un 0.5% de agua en fuente subterráneas y superficiales para cubrir sus necesidades básicas, por otro lado, Giraldo y Moreno-Piraján, (2014) menciona que se estima que el agua dulce disponible anualmente para consumo humano varía entre 12.500 y 14.000 kilómetros cúbico. No obstante millones de personas en el mundo sufre escasez de agua potable. Por lo que la calidad de agua para consumo humano es un tema muy importante, ya que hoy en día se evidencia que la contaminación ambiental ha incrementado.

El agua es contaminada a menudo por metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As), entre otros, los cuales son tóxicos para los seres vivos ya que son cancerígenos en cierta cantidad. Otros efectos de los metales pesados en la salud son proteinuria, cáncer respiratorio, cáncer de piel (Chen, et al., 2018). La serie de informes de Adjuntía (2019) menciona que las principales fuentes de contaminación en el Perú son la existencia de pasivos ambientales mineros y de hidrocarburos; así como las toneladas de mercurio arrojadas a los ríos producto de la minería ilegal. Esta problemática afecta principalmente a poblaciones que su única fuente de agua son los ríos y lo utilizan y consumen sin ningún tratamiento previo, por otro lado, afecta a diversos sistemas de tratamiento por lo que se requiere de más métodos eficaces. La contaminación de fuentes de agua también se da por los residuos industriales que contienen diversos tipos de contaminantes orgánicos, inorgánicos y ácidos que ocasionan una pérdida de la calidad del agua (Goyal, Srivastava, y Kushwaha 2017).

La presencia de productos químicos tóxicos en el ambiente ocasiona impactos significativos en todo el mundo, puesto que estos químicos terminan en fuentes de agua y otros elementos del ambiente, posteriormente almacenándose en animales y tejidos humanos. Siendo la contaminación del agua la problemática principal de esta investigación, cabe resaltar que para disminuir estos metales pesados del agua, existen diferentes métodos que en los últimos años han aparecido nuevas tecnologías para combatir este problema, tales como: Coagulación y filtración, Oxidación química o reducción, Intercambio iónico, Procesos de membrana, Adsorción, en la tabla 1 se evidencia sus ventajas y desventajas de cada uno (Trelles Bautista 2013).

Tabla 1

Ventajas y desventajas de las principales tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados del agua

Método	Ventajas	Desventajas
Coagulación y filtración	- Costo inicial relativamente bajo. - Cuando se usa en sistemas a gran escala puede ser una tecnología costo-efectiva	Tolerancia limitada a las variaciones de pH (para sulfuros). Puede verse afectado por la presencia de sólidos suspendidos.
	- Operación relativamente simple - (cuando se compara con las otras tecnologías listadas)	Se producen lodos tóxicos. Baja efectividad, particularmente cuando las concentraciones son bajas (entre 1 y 100 mg/L) y especialmente para el As (III).
	- Químicos comúnmente disponibles	

- En algunos casos se requiere de preoxidación.

Oxidación química o reducción	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso relativamente simple, de bajo costo, pero lento. - Oxida otras impurezas y elimina contaminación microbiana (cuando se usa cloro o similar como agente oxidante) - Técnica relativamente conocidas, definidas y comercialmente disponibles - Efluente de alta pureza - Alta efectividad
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> - - - Técnica bien definida y alta eficiencia en la remoción No produce residuos sólidos Tóxicos
Procesos membrana de	<p>Capaz de remover otros contaminantes</p> <p>Relativamente conocida y comercialmente disponible.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alta efectividad
Adsorción	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede obtener un efluente de alta pureza

- Se requiere el uso de químicos
- Puede verse afectado por la presencia de sólidos suspendidos.
- La remoción de arsénico es parcial.
- Sensible a las condiciones ambientales.
- Tolerancia limitada a las variaciones de pH.

- Puede verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.
- Produce residuos tóxicos.
- Se requiere de instalación y regeneración.
- Requiere de operación y mantenimiento altamente tecnificado.
- Costo relativamente alto.

- Tolerancia limitada a las variaciones de pH.
- Puede verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.
- Costo de instalación y mantenimiento altos.
- Operación y mantenimiento altamente calificados.
- Se producen aguas residuales tóxicas.

- Tolerancia limitada a las variaciones de pH.
- Puede verse afectado por la presencia de solidos suspendidos.
- Produce materiales de residuo tóxicos.
- Operación y mantenimiento altamente calificados.
- Costo relativamente alto.

Adaptado de (Ahmed 2001; Mittal et al. 2016; Petrusevski et al. 2006; Rao 2011; Volesky 2001; Wang y Chen 2009) (como lo citó en Trelles Bautista, 2013).

Esta investigación se basó en la adsorción, entonces, cabe mencionar que con el paso de los años se han desarrollado diferentes investigaciones para hallar métodos económicamente viable (Gupta y Ali 2012). Siendo el interés científico de esta investigación la importancia y la eficacia del método de absorción (Adhoum y Monser 2002). Lo que induce a la investigación de alternativas de costos mínimos y disponibilidad, estas alternativas abarca materiales orgánicos como cascara de naranja, de coco, de huevo, entre otros (Faridi y Arabhosseini 2018; Mittal et al. 2016).

La finalidad de esta investigación es la protección del agua, su ecosistema y la salud del ser humano, mediante una nueva alternativa para remover contaminantes del agua, por lo que se busca dar a conocer las propiedades de la cascara de huevo como adsorbente de metales del agua (Faridi y Arabhosseini 2018), de esa manera determinar la eficacia de esta alternativa, incrementando la gama de opciones factibles para la remoción de metales pesados. Así mismo basado en la reutilización de los residuos orgánicos, puesto que las cifras de estos van en aumento, entre uno de ellos los desechos provenientes de las industrias de procesamiento de alimento, entre ellos las industrias de panificación (Eletta et al. 2016). Considerando que el consumo per cápita de huevo comercial en el Perú ha sido de

224 unidades y para Lima Metropolitana este consumo ha sido de 276 unidades en cuanto a huevos comerciales. (Castro 2018).

2. Adsorción

La adsorción es considerada como un proceso de transferencia de masa en el que una sustancia es transformada desde la fase líquida al área de un sólido y permanece retenida por fuerzas físicas o químicas. Este proceso sucede sobre partículas sólidas en medios estables. Es un fenómeno superficial y por lo que a mayor superficie del medio mayor va ser la capacidad de almacenar material (Galindo et al. 2005).

Actualmente, uno de los estudios más importantes de la adsorción en sustancias acuosa es la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en aguas potables y aguas residuales municipales e industriales (Ramos 2007).

La adsorción comprende lo que es la utilidad de un medio granular adsorbente para la remoción selectiva de elementos en el agua con o sin ajuste de pH y con o sin regeneración del medio (Petruşevski et al. 2002; Trelles Bautista 2013).

2.1. Factores que intervienen en la adsorción

Los factores que intervienen en la adsorción en sustancia líquida son numerosos. A continuación, se especifican los más relevantes:

- Superficie específica.

Teniendo en cuenta que la adsorción es un fenómeno superficial, mientras mayor sea la superficie del adsorbente, mayor será la retención del adsorbato (Galindo et al. 2005). Por lo tanto, los sólidos que se emplean generalmente son sólidos porosos (carbón activado, zeolitas, etc.) - **Naturaleza del adsorbente.**

Existe una influencia en la naturaleza química de la superficie del adsorbente, de la misma forma que las propiedades texturales, como son la superficie específica, el volumen de poros y tamaño de partícula, influirán bastante en la cantidad general de adsorbato retenida (Rao et al. 2009). - **Naturaleza del adsorbato.**

En el proceso de adsorción es importante tener en consideración factores como la solubilidad del adsorbato, su estructura química, o su naturaleza iónica. Así, mientras sea mayor la solubilidad del mismo, el grado de adsorción será menor. (Hiura, Miyazaki, y Tsukagoshi 2010). - **pH.**

El Potencial de Hidrogeno del agua afecta tanto al adsorbente sólido como al adsorbato. Por otra parte, los iones hidroxonio e hidronio se adsorben vigorosamente sobre algunos adsorbentes, formándose una competencia con la retención del adsorbato.

- Temperatura.

La adsorción es un fenómeno exotérmico, por lo que sí existe un aumento en la temperatura esto provoca una depreciación en la capacidad de adsorción. No obstante, la entalpía de adsorción suele ser sumamente baja, por lo que las diferenciaciones con la temperatura no son muy relevantes. A pesar de que la adsorción reduce con el incremento de la temperatura, algunos autores han observado que en ciertos casos (adsorción de fenoles sobre carbones muy micro porosos) se produce un fenómeno inverso (Riedl, Zakharov, y Starke 2008).

- Naturaleza del disolvente.

La naturaleza química del disolvente interviene en las correlaciones con el adsorbato. El grado de adsorción de un adsorbato será diferente dependiendo del disolvente en el que sea aplicado.

Otro factor sustancial es la rigidez superficial del disolvente, que interviene en el contacto entre el sólido y el líquido, y establecerá la superficie eficaz para la adsorción (Asenjo 2014).

2.2. Tipos de adsorción

Pino (2012) afirma que existen dos tipos de adsorción: adsorción química y adsorción física, mientras que (Rojas et al. 2012) sostiene que hay tres tipos de adsorción: química, física e intercambio iónico ya que la adsorción cae completa dentro del intercambio iónico y muy seguido es nombrada como la misma.

3. Calcinación

Es el proceso de calentar una sustancia a altas temperaturas, para ocasionar la descomposición térmica de estado en su constitución física o química. La transformación tiene habitualmente el efecto de volver inconsistentes las sustancias. Este proceso se realiza con la finalidad de eliminar el agua presente como humedad absorbida, agua de cristalización; Excluir el dióxido de carbono, el dióxido de azufre u otros compuestos orgánicos volátiles; Para oxidar una parte o toda la sustancia; Para disminuir metales desde sus menas (Quispe y Huaracha 2018).

4. Cascara y membrana de huevo

La cáscara está compuesta, mayormente, por una matriz cálcica con un armazón orgánico, donde el calcio es el componente con mayor abundancia e importancia. También está compuesta por otros minerales como sodio, magnesio, cinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en concentraciones pequeñas. La superficie de la cáscara en su totalidad, inclusive los poros, están recubierta por una corteza orgánica que está conformada especialmente por proteínas (90%) y porciones mínimas de lípidos y carbohidratos (Instituto de Estudios del Huevo 2009).

Se estima que cada cascara de huevo contiene entre 7000 y 17000 poros (Figuroa. 2009), además la porosidad de la cáscara es bastante diferente entre aves, los patos que colocan sus huevos en flora sobre el agua o en tierra pantanosa sus cáscaras tienden a ser muy porosas, mientras tanto aquellas aves que construyen sus nidos en senos rocosos u otros lugares secos, son muy impermeables para obstaculizar la excesiva evaporación del agua (Gómez y Valero 2006).

La membrana de la cascara de huevo es una película delgada transparente que recubre la cascara de huevo y es visible cuando se pela el huevo cocido (Mittal et al. 2016). La membrana de la cascara de huevo tiene una estructura porosa y fibrilar, los cuales son los encargados de la buena adsorción, además de ser un biomaterial sin forma con una enrevesada red de establos y agua (Mittal et al. 2016).

4.1. Composición Química de la cascara de huevo y la membrana.

Mittal, Teotia, Soni y Mittal (2016) aseguran que sus principales componentes de la cascara de huevo son los carbonatos (94%), sulfatos y fosfatos de calcio (1%), carbonatos de magnesio (1%) y materia orgánica (4%), también tiene metales como Sodio (Na), Potasio (K), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Estroncio (Sr) en cantidades extremadamente pequeñas, la cascara de huevo tiene una densidad aproximadamente 2.53 gr/cm. En la tabla 2 podemos observar los resultados de un Análisis elemental de cáscara de huevo y partículas de su membrana.

Tabla 2

Análisis elemental de cáscara de huevo y partículas de su membrana.

Muestra	C (%peso)	H (%peso)	N (%peso)	O (%peso)	S (%peso)
Cáscara de huevo	13.09 ± 0.00	13.09 ± 0.00	13.09 ± 0.00	13.09 ± 0.00	13.09 ± 0.00

Membrana de cáscara de huevo	47.50 ± 0.07	47.50 ± 0.07	47.50 ± 0.07	47.50 ± 0.07	47.50 ± 0.07
------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Carbono (C), Hidrogeno (H), Nitrógeno (N), Oxígeno (O), Azufre (S)

Fuente: (Pettinato et al. 2015; Tsai et al. 2006)

4.2. Propiedades de adsorción de cáscara de huevo y su membrana

Quina et al., (como se citó en Santos, Arim, Lopes, Gando-Ferreira, & Quina, 2019) especula que la cáscara de huevo es un subproducto animal que tienen diversas aplicaciones que ha revelado buenas propiedades como adsorbente. La porosidad de la cáscara de huevo y su membrana conjuntamente con las propiedades de la superficie los hacen buenos adsorbentes, capaces de adsorber metales pesados, compuestos fenólicos, colorantes y pesticidas de aguas residuales (Carvalho et al. 2011).

Desde un punto de vista químico, cáscara de huevo de gallina se compone de 98% de los compuestos inorgánicos y sustancias orgánicas 2%, que crean una estructura muy porosa que permite el intercambio gaseoso a lo largo de la cáscara. El uso de este tipo de adsorbentes tiene muchas ventajas, algunas de estas son el bajo costo y su disponibilidad, por otra parte, basándose en su composición, el carbonato de calcio es el principal y más importante componente de la cáscara de huevo (Pettinato et al. 2015).

4.3. Composición de cáscaras de huevo (naturales y calcinadas) por rayos X

Tabla 3

Composición de cáscaras de huevo (naturales y calcinadas) por rayos X

Compuesto	Natural (%)	Calcinada (%)
Ca	91.94	99.63
Si	4.30	
Al	1.44	
Na	0.53	
K	0.48	0.14
F	0.42	
P	0.32	0.06
Cl	0.25	
Sr	0.16	0.16
Fe	0.09	
Zn	0-07	
Zr	0.01	

Fuente: (Park et al. 2007)

En esta investigación comunicaron que todas las cáscaras de huevo poseían contenidos químicos similares que se componen especialmente de carbonato de calcio (CaCO_3) y algunos otros elementos como: azufre (S), magnesio (Mg), fósforo (P), aluminio (Al), potasio (K) y estroncio (Sr).

Posteriormente de la calcinación, la composición inorgánica primordial fue reconocido la cal (99.63%) y K, P y Sr fueron mínimas composiciones. Este resultado muestra que las composiciones de cáscara de huevo son modificadas por calcinación.

La cáscara de huevo natural poseía un carácter ordinariamente irregular estructura cristalina. Luego de la calcinación a 800 ° C durante 2 h, la estructura cristalina ha cambiado y se observó poros muy desarrollados.

5. Investigaciones asociadas a la aplicación de cascara de huevo calcinada para remover metales pesados

Tabla 4

Condiciones para la pirolisis (Calcinación) de cascara de huevo

N°	País	Año	T° de	Tiempo de	%Remoción	Referencias
			Pirolisis	Pirolisis		
1	Nigeria	2016	900 °C 4h	84,53%	(Eletta et al. 2016)	
2	Qatar	2018	800 °C 4h	96,3%	(Al-Ghouti y Salih 2018)	
3	Corea	2007	800 °C 2h	>99%	(Park et al., 2007)	
4	Perú	2018	800 °C	2h	89%	(Quispe y Huaracha, 2018)

Las condiciones con la que trabajaron no varían mucho, Al-Ghouti & Salih, (2018); Mudhoo et al., (2012) y Quispe y Huaracha, (2018) trabajaron con una temperatura de 800 °C para la pirolisis (calcinación) de la cascara de huevo, mientras que Eletta et al., (2016) trabajó con una temperatura de 900°C. Con respecto al tiempo que se realizó la pirolisis (calcinación) Eletta et al., (2016) y Al-Ghouti & Salih, (2018) trabajaron con un tiempo de 4 horas, mientras que Mudhoo et al., (2012) y Quispe y Huaracha, (2018) trabajaron con un tiempo de 2 horas. Eletta et al., (2016) obtuvo la menor remoción de contaminante (84,53%) a comparación de las demás investigaciones, entonces entre estas 4 investigaciones la temperatura adecuada para realizar la pirolisis (Calcinación) es de 800 °C en un rango de 2 a 4 horas. Es muy importante tener en cuenta estas condiciones puesto que este proceso aumenta la porosidad del adsorbente

Tabla 5

Investigaciones de cascara de huevo calcinada para remover metales pesados

Metales	Concentración Inicial del Metal	Masa del Adsorbente (Mg/L)	pH	Tiempo de Contacto	Rpm	%Remoción	Capacidad Máxima de Adsorción (Langmuir) - Isotermas	Coefficiente de Afinidad (Langmuir) - Isotermas	Referencias
Cianuro	26.02 mg/ L	7gr/L	7	27 min	350	84,53%	3.27 (mg/gr)	0,263 (L/mg)	(Eletta et al. 2016)
Boro	100 mg/L	0.05gr/L	6	48 h	150	96,3%	31.06 (mg/gr)	0.1927(L/mg)	(Al-Ghouti y Salih 2018)
Plomo	3 mg/L	25 gr/L	6	60 min	200	70%	(Park et al. 2007)

Cromo	3 mg/L	25 gr/L	6	10 min	200	>99%	
Cadmio	3 mg/L	25 gr/L	6	10 min	200	100%	
Cromo	100 mg/L	50 gr/L	2	15 min	200	89%	29.08 (mg/gr)	0.0392 (L/mg)	(Quispe y Huaracha 2018)

Tabla 6

Investigaciones sobre la remoción de metales con cascara de huevo

Metales	Concentración Inicial del Metal	Masa del Adsorbente (Mg/L)	pH	Tiempo de Contacto	Rpm	%Remoción	Capacidad Máxima de Adsorción (Langmuir) - Isotermas	Coficiente de Afinidad (Langmuir) - Isotermas	Referencias
Mercurio	100 mg/L	0.1 gr/L	7	72 h	105	>50%	180.32 (mg/gr)	0.09 (L/mg)	(Sánchez y Cameselle 2017)
Cromo (III)	100 mg/L	1 gr/L	5	2 h	150	66%	502.8 (mg/gr)	0.995 (L/mg)	(Chojnacka 2005)

Las concentraciones inicial de metal en cada investigación son muy diferentes, esto depende de los criterios de cada autor, ya sea con una muestra natural o una muestra sintética, así mismo la masa de adsorbente en este caso de cascara de huevo calcinada también son muy diferentes no existe un rango ni una proximidad, esto va depender bastante de que metal se quiere remover y de los propios criterios del autor, algunos trabajan con una relación de a mayor concentración inicial de metal – mayor masa de adsorbente, otro trabajan a mayor concentración inicial de metal – menor masa de adsorbente, también trabajan a menor concentración inicial de metal – mayor masa de adsorbente, con respecto a las investigaciones de la tabla 5 podemos observar que la unidad en concentración inicial de metal es menor a la unidad de la masa de adsorbente, lo que significa que todos trabajaron con concentraciones iniciales de metal menores a la masa de adsorbente y obtuvieron resultados favorables, esto se debe a la poca cantidad de adsorbato y al espacio que tiene cuando hay una cantidad suficiente de adsorbente. Estas dos variables son muy importantes para evaluar la remoción y quienes ayudan a definir si habrá o no una buena remoción, las cantidades de estas pueden ser fijas o se puede variar y de esta manera encontrar una concentración óptima.

El potencial de hidrogeno es otra de las variables de suma importancia ya que el pH del agua afecta tanto al adsorbente como al adsorbato, también puede volverse una competencia con la retención de adsorbato en estas 4 investigaciones utilizan un pH ligeramente ácido en un rango de 6 a 7 y obtuvieron una remoción bastante alta, por lo que Al-Ghouthi & Salih, (2018) afirma que el pH juega un papel significativo en el proceso de adsorción debido a la interacción de los iones y la superficie del adsorbente, por otro lado una de las investigaciones trabajaron con un pH de 2 que es altamente ácido y también obtuvieron una remoción ligeramente alta, otra de las diferencias que hay en esta investigación es que utilizo más masa de adsorbente que las demás investigaciones.

Otras de las variables que influyen son el tiempo de contacto y las revoluciones por minuto que se emplean en el agitador magnético, el tiempo empleado en las investigaciones están en un rango de 10 a 60 minutos y obtuvieron resultados ligeramente buenos, por otro lado, la mayor remoción lo tuvo la investigación donde trabajaron con un tiempo de contacto de 48 horas y las más bajas revoluciones por minuto, teniendo en cuenta que los demás trabajaron con 200 y 350 rpm. El porcentaje más alto de remoción no solo se debió al tiempo de contacto empleado, también influyó la masa de adsorbente ya que fue la más baja de todas, lo que hizo que no se sature la solución y la adsorción sea mayor.

Las investigaciones presentadas en la tabla 5 evidencian que Al-Ghouti & Salih, (2018) y (Park et al. 2007) trabajaron con un Ph de 6 y Eletta et al., (2016) con un pH de 7 siendo ligeramente ácidos, en cambio Quispe y Huaracha, (2018) trabajaron con un pH de 2. Así mismo Al-Ghouti & Salih, (2018) indican que los resultados mostraron que la eliminación eficiente de boro fue 96,3% a un pH de 6, mientras que Quispe & Huaracha, (2018) concluyen que las variables más adecuadas para el proceso de adsorción según su matriz experimental es mediante un tiempo de 15 minutos de contacto, con 50 gr/L de adsorbente de cascara de huevo calcinada, manteniendo los parámetros de pH en 2 y una agitación de 200 rpm, para una temperatura ambiental, bajo esta condición se alcanzó la mejor recuperación, aproximadamente de 89%, si comparamos los resultados de estos dos autores se puede concluir que con un pH ligeramente ácido hay una mejor remoción por otro lado Eletta et al., (2016) emplearon el tiempo de contacto, la concentración inicial de metal y la dosis de adsorbente como variables a un pH fijo de 7 y obtuvo resultados ligeramente bajos en comparación con los demás autores, cabe resaltar que la adsorción de iones de la solución depende en gran medida del pH de este, ya que afecta la carga superficial de los adsorbentes y el grado de ionización y especiación, por lo que es un parámetro importante que se tiene que tener en cuenta al momento de realizar la remoción.

Eletta et al., (2016) realizaron el tratamiento con diferentes concentraciones iniciales, tiempos de contacto y dosis de adsorbente (5, 7 y 9 gr/L) donde la mayor remoción obtuvieron con una concentración inicial de 26.02 mg/L de cianuro, 7 gr/L de adsorbente y un tiempo de 27 minutos de contacto, sin embargo, también se pudo evidenciar que el porcentaje de remoción creció con el aumento de la dosis de adsorbente para todas las concentraciones iniciales de cianuro consideradas, el mayor porcentaje de remoción de cianuro fue del 78% para 26.02 mg/L usando una dosis de adsorbente de 9 g; para 5g se obtuvo un 60% y para 7 g un 67%, esto indica que la cantidad de adsorbente proporcionó suficiente sitio de adsorción activa para la ocupación de cianuro, por otra parte para las demás concentraciones iniciales se notó una rápida caída en la eficiencia para 9, 7 y 5 gr/L de adsorbente, sumado a todo esto también evaluaron el efecto del tiempo de contacto sobre la eficiencia de adsorción de cianuro usando varias concentraciones, se notó que la adsorción de cianuro aumentó espontáneamente con el tiempo de contacto ya que alcanzan un equilibrio de alrededor de 40 minutos. El proceso de adsorción fue rápido inicialmente debido a la disponibilidad del sitio de unión activos en la superficie adsorbente. Sin embargo, durante las últimas etapas, la adsorción fue controlada debido a la reducción de los sitios activos disponibles. Con respecto a esto Quispe & Huaracha, (2018) afirma que a mayor tiempo de contacto nos permite una mejor adsorción, así mismo Al-Ghouti y Salih, (2018) removieron un 96,3% de Boro a una concentración muy baja de adsorbente (0.05 gr/L) con respecto a las demás investigaciones y una concentración inicial de contaminante de 100 mg/L, esto se debe posiblemente al tiempo de contacto, ya que a diferencia de los demás investigadores aplicaron un tiempo de contacto de 48 horas, por lo que demuestra que a mayor tiempo de contacto mayor adsorción.

Quispe & Huaracha, (2018) discuten que a mayor tiempo y una alta masa adsorbente permite una mejor adsorción, ya que las masas de adsorbente bajas de las pruebas que realizaron tienen una recuperación muy pobre; respecto a la concentración del contaminante inicial parece que su concentración no es muy relevante ya que dos de sus pruebas tienen un rendimiento elevado y nos muestra que la concentración del contaminante es bajo y más importante es el tiempo y la masa de adsorbente, quien aplicó 100 mg/L de concentración inicial de cromo y 50 gr/L de adsorbente.

Respecto a la capacidad de adsorción nos indica el valor máximo de remoción que tiene la cascara de huevo calcinada, Al-Ghouti y Salih, (2018) tuvo la mayor capacidad de adsorción con un valor de 31,06 mg/gr, la capacidad máxima se teniendo en consideración que el tiempo de contacto fue de 48h lo que influye en su capacidad de remoción, sin embargo el resultado más bajo fue de Eletta et al. (2016) con un valor de 3.27 mg/gr, esto se puede deber a que trabajó a revoluciones altas (350) obteniendo una remoción baja (84.53%).

El coeficiente de afinidad es la eficiencia de la adsorción del metal, el que tuvo mayor coeficiencia de afinidad fue el cianuro con un valor de 0.263 L/mg, aunque haya tenido la capacidad de adsorción más baja que probablemente se debió a la cantidad de revoluciones por minuto ya que a comparación de las demás investigaciones es la más alta (350). La menor coeficiencia de afinidad tuvo el cromo en condiciones de 100 mg/L de concentración inicial, 50 gr/L de adsorbente, con un pH 2, a 15 min de contacto y 200 rpm.

En la tabla 6 las investigaciones se realizaron solo con cascara de huevo lavado, secado, molido y utilizado directamente como adsorbente de metales pesados, Sánchez & Cameselle, (2017) aplican una concentración inicial de 100 mg/L y una masa de adsorbente de 0.1 gr/L, con un pH de 7, así mismo trabajan con un elevado tiempo de adsorción a comparación de Al-Ghouti & Salih, (2018); (Park et al. 2007); Quispe & Huaracha, (2018) y Eletta et al., (2016) que trabajaron con un tiempo de contacto menor y obtuvieron mejores resultados, recalando que Quispe & Huaracha, (2018) aseguran que a un mayor tiempo de contacto, mayor remoción de metales, por lo que se concluye que uno de los factores responsables de estos resultados es la falta del proceso de pirolisis a la cascara de huevo ya que su aplicación en el tratamiento es directo. Las revoluciones que Sánchez & Cameselle, (2017) utilizan es de 105 siendo un valor relativamente cerca de las demás investigaciones, con lo que respecta al coeficiente de afinidad se observa que el cromo(III) con un valor de 0.995(L/mg) tiene mucha más afinidad que el mercurio con un valor de 0.09(L/mg) lo que influye en la remoción ya que por más que se tenga una elevada capacidad máxima de adsorción, la afinidad es muy importante.

La mayor remoción en estas investigaciones la obtuvo Chojnacka (2005) con un 66% de adsorción de cromo(III) bajo las condiciones de 100 mg/L de concentración inicial, 1 gr/L de adsorbente, un pH de 5, con un tiempo de 2 horas de contacto, a 150 rpm, aun así la remoción obtenida es más baja que el de las investigaciones presentadas en la tabla 5, a pesar de que trabajaron con variables similares, incluso tuvieron más consideración con respecto al tiempo de contacto y pesar de esto los resultados no fueron tan favorables, entonces cabe resaltar que Park et al., (2007) concluye que la cáscara de huevo calcinada es un material prometedor en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con iones de metales pesados, teniendo en cuenta que realizaron una comparación entre ambas.

5. Conclusiones

En conclusión, se debe tener en cuenta todas las variables presentadas en las investigaciones revisadas, así mismo considerar que la cáscara de huevo calcinada es más eficaz que la cascara de huevo sin calcinar para la adsorción de metales pesados de acuerdo a los resultados de las investigaciones revisadas en la tabla 5 y 6 por lo que no puede ser considerado simplemente como un desperdicio. Ya que el huevo es uno de los alimentos más utilizados, principalmente en plantas de procesamiento de alimentos y fabricación de subproductos y una gran parte de las cáscaras son desechos que se acumulan en relleno sanitario o vertederos. Sin embargo, estos desechos pueden ser empleados con diversas finalidades una de ellas es como adsorbente de bajo costos para la eliminación de metales pesados en el agua. Esta revisión ha resumido la aplicación de las cascara de huevo como un valioso adsorbente de metales.

REFERENCES

1. Adhoum, N. y L. Monser. 2002. «Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon». *Chemical Engineering and Processing* 41(1):17-21.
2. Adjuntía, Serie Informes de. 2019. «Actuación defensorial frente a la gestión de pasivos ambientales y la erradicación de la minería ilegal». 1-11.
3. Ahmed, M. Feroze. 2001. «An Overview of Arsenic Removal Technologies in Bangladesh and India». *Civil Engineering* 251-69.
4. Al-Ghouti, Mohammad A. y Nusrath Rushdha Salih. 2018. «Application of eggshell wastes for boron remediation from water». *Journal of Molecular Liquids* 256(2017):599-610.
5. Asenjo, Natalia Garcia. 2014. «UNA NUEVA GENERACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS DE ALTAS PRESTACIONES PARA APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES».
6. Blanco, Félix y de la Torre. 2017. «Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución». *Cuadernos de estrategia* (1697-6924186):21-70.
7. Carvalho, J., a Ribeiro, C. Vilarinho, y F. Castro. 2011. «Adsorption process onto an innovative eggshell-derived low-cost adsorbent in simulated effluent and real industrial effluents».
8. Castro, Elva. 2018. «Producción y comercialización de productos avícolas». 1-27.
9. Chen, Lian, Shenglu Zhou, Yaxing Shi, Chunhui Wang, Baojie Li, Yan Li, y Shaohua Wu. 2018. «Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested». *Science of the Total Environment* 615(163):141-49.
10. Chojnacka, Katarzyna. 2005. «Biosorption of Cr(III) ions by eggshells». *Journal of Hazardous Materials* 121(1-3):167-73.
11. Eletta, O. A. A., O. A. Ajayi, O. O. Ogunleye, y I. C. Akpan. 2016. *Adsorption of cyanide from aqueous solution using calcinated eggshells: Equilibrium and optimisation studies*. Vol. 4. Elsevier B.V.
12. Faridi, Hamideh y Akbar Arabhosseini. 2018. «Application of eggshell wastes as valuable and utilizable products: A review». *Research in Agricultural Engineering* 64(2):104-14.
13. Fernández, A. 2012. «El agua: un recurso esencial». *Química Viva* 11(3):147-70.

14. Figueroa., Jesús Valdés. 2009. «La cáscara del huevo: ¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción avícola? Una experiencia cubana». 19:84-102.
15. Galindo, Griselda, José Luis Fernández Turiel, Miguel Ángel Parada, y Domingo Gimeno Torrente. 2005. «Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento II SEMINARIO HISPANOLATINOAMERICANO SOBRE TEMAS ACTUALES DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA IV CONGRESO HIDROGEOLOGICO ARGENTINO Río Cuarto, 25 al 28 de Octubre de 2005».
16. Giraldo, Liliana y Juan Carlos Moreno-Piraján. 2014. «Study of adsorption of phenol on activated carbons obtained from eggshells». *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 106:41-47.
17. Gómez, Jesiús y Antonio Valero. 2006. «El huevo». *Aviornis International* (87):40-45.
18. Goyal, Akash, Vimal Chandra Srivastava, y Jai Prakash Kushwaha. 2017. «Treatment of highly acidic wastewater containing high energetic compounds using dimensionally stable anode». *Chemical Engineering Journal* 325:289-99.
19. Gupta, V. K. y Imran Ali. 2012. *Environmental Water: Advances in Treatment, Remediation and Recycling*. Elsevier.
20. Hiura, Hidefumi, Hisao Miyazaki, y Kazuhito Tsukagoshi. 2010. «Determination of the number of graphene layers: Discrete distribution of the secondary electron intensity stemming from individual graphene layers». *Applied Physics Express* 3(9).
21. Instituto de Estudios del Huevo. 2009. *El gran libro del huevo*. Vol. 112. editado por S. . EVERGRÁFICAS. Madrid.
22. Mittal, Alok, Meenu Teotia, R. K. Soni, y Jyoti Mittal. 2016. «Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: A review». *Journal of Molecular Liquids* 223:376-87.
23. Mudhoo, Ackmez, Vinod K. Garg, y Shaobin Wang. 2012. «Removal of heavy metals by biosorption». *Environmental Chemistry Letters* 10(2):109-17.
24. Park, Heung Jai, Seong Wook Jeong, Jae Kyu Yang, Boo Gil Kim, y Seung Mok Lee. 2007. «Removal of heavy metals using waste eggshell». *Journal of Environmental Sciences* 19(12):1436-41.
25. Petrushevski, B., J. Boere, S. M. Shahidullah, S. K. Sharma, y J. C. Schippers. 2002. «Adsorbentbased point-of-use system for arsenic removal in rural areas». *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* 51(3):135-44.
26. Petrushevski, Branislav, Saroj Sharma, Jan. C. Schippers, y Kathleen Shordt. 2006. «Arsenic in Drinking Water Arsenic in Drinking Water». *Water* (September):0-2.
27. Pettinato, M., S. Chakraborty, Hassan A. Arafat, y V. Calabro'. 2015. «Eggshell: A green adsorbent for heavy metal removal in an MBR system». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 121:57-62.
28. Pino, Fernando Fernández. 2012. «Capítulo 3 : Sistema De Adsorción». 0.
29. Quispe, Joel Gabino Aguaro y Edgar Emilio Onofre Huaracha. 2018. «Investigación para controlar en las aguas residuales industriales la contaminación con cromo, usando cascara de

huevo calcinado, en soluciones sintéticas y posterior aplicación a las aguas contaminadas reales».

30. Ramos, Leiva Roberto. 2007. «Importancia y aplicaciones de la adsorción en fase líquida». *Sólidos porosos, preparación, caracterización y aplicaciones*. (1):160-70.
31. Rao, C. N. R., A. K. Sood, K. S. Subrahmanyam, y A. Govindaraj. 2009. «Graphene: The new two-dimensional nanomaterial». *Angewandte Chemie - International Edition* 48(42):7752-77.
32. Rao, Sudhakar M. 2011. «Reverse Osmosis». *Resonance* 16(12):1333-36.
33. Riedl, C., A. A. Zakharov, y U. Starke. 2008. «Precise in situ thickness analysis of epitaxial graphene layers on SiC(0001) using low-energy electron diffraction and angle resolved ultraviolet photoelectron spectroscopy». *Applied Physics Letters* 93(3):91-94.
34. Rojas, Norma García, Paola Villanueva Díaz, Eduardo Campos Medina, y Alma Velázquez Rodríguez. 2012. «Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales». *Quivera*.
35. Sánchez, J. y C. Cameselle. 2017. «Biosorción de mercurio (Hg²⁺) usando materiales sólidos residuales como adsorbentes». *Afinidad* 74(577):18-25.
36. Santos, Andreia F., Aline L. Arim, Daniela V. Lopes, Licínio M. Gando-Ferreira, y Margarida J. Quina. 2019. «Recovery of phosphate from aqueous solutions using calcined eggshell as an eco-friendly adsorbent». *Journal of Environmental Management* 238(March):451-59.
37. Solis, L. y J. Lopez. 2003. *Principios básicos de contaminación ambiental*. 1.^a ed. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
38. Trelles Bautista, Jesus Antonio. 2013. «“BIOSORCIÓN DE ARSENICO EN MEDIO ACUOSO EMPLEANDO BIOMASAS VEGETALES INERTES”».
39. Tsai, W. T., J. M. Yang, C. W. Lai, Y. H. Cheng, C. C. Lin, y C. W. Yeh. 2006. «Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane». *Bioresource Technology* 97(3):488-93.
40. Volesky, B. 2001. «Detoxification of metal-bearing effluents: Biosorption for the next century». *Hydrometallurgy* 59(2-3):203-16.
41. Wang, Jianlong y Can Chen. 2009. «Biosorbents for heavy metals removal and their future». *Biotechnology Advances* 27(2):195-226.