

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



**Remoción de Arsénico en agua subterránea con carbón
activado de las variedades de capsulas de semillas de
eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *urograndis*)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Esmeralda Carreon Cahuari
Diego Armando Chuquitarqui Quispe

Asesor:

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, noviembre de 2025

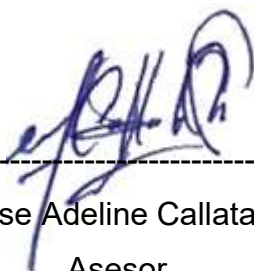
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Rose Adeline Callata Chura, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA SUBTERRÁNEA CON CARBÓN ACTIVADO DE LAS VARIEDADES DE CAPSULAS DE SEMILLAS DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS GLOBULUS Y UROGRANDIS)”** de los autores **Esmeralda Carreon Cahuari** y **Diego Armando Chuquitarqui Quispe** tiene un índice de similitud de 18% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 20 días del mes de noviembre del año 2025.



Msc. Rose Adeline Callata Chura
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 07... día(s) del mes de... noviembre... del año 2022...
 las 12:00... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del
 (de la) presidente(a):

Msc. Enrique Mamani Cuda..... el (la) secretario(a): Msc. Loyda Abigail

Gondori Turpo..... y los demás miembros: Msc. Miguel Angel Salcedo

Enriquez Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivora y el (la) asesor(a) Msc. Rox Adeline Gallata

Ghuna.....

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Remoción de Arsénico en agua subterránea con carbón activado de las variedades
 de capsulas de semillas de eucalipto (Eucalyptus globulus y urograndis)*"

del(los) bachiller(es): a) Esmeralda Barneon Cahuari

b) Diego Armando Chuquitargui Quispe

c).....

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) 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 al (a la) / a (los) (las) 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:

Bachiller (a): Esmeralda Barneon Cahuari

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller (b): Diego Armando Chuquitargui Quispe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller (c):.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) 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.


 Presidente/a


 Asesor/a


 Bachiller (a)


 Miembro


 Bachiller (b)


 Secretario/a


 Miembro

Bachiller (c)

Remoción de arsénico en agua subterránea con carbón activado de las variedades de capsulas de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *urograndis*)

Arsenic removal from groundwater with activated carbon from eucalyptus seed capsule varieties (*Eucalyptus Globulus* and *Urograndis*)

Resumen

La contaminación por arsénico en aguas subterráneas constituye un grave problema de salud pública global. Este estudio evaluó la remoción de arsénico mediante carbón activado derivado de cápsulas de *Eucalyptus globulus* y *E. urograndis*, pirolizados a 500 °C durante 90 y 120 minutos con H₃PO₄ (85%) en relación 1:1 (p/v). Los ensayos de adsorción se realizaron con dosis de 1–3 g en 500 mL de agua subterránea a pH neutro, bajo agitación de 300 rpm durante 120 minutos. Un diseño factorial 2³ permitió evaluar el efecto del tipo de precursor, tiempo de pirólisis y dosis de adsorbente sobre la eficiencia de remoción. La caracterización por SEM reveló estructuras porosas jerárquicas con morfología coralina, siendo *E. globulus* a 120 minutos el material con mayor desarrollo estructural. El análisis ANOVA confirmó la significancia del modelo (F = 111.22, p < 0.001, R² = 97.99%), identificando la dosis del adsorbente como factor principal, seguida del tipo de precursor y tiempo de pirólisis. Los datos de equilibrio se ajustaron al modelo de Freundlich (R² = 0.98, n = 3.25 para *E. globulus*), evidenciando adsorción heterogénea favorable en multicapas. La cinética siguió el modelo de pseudo-segundo orden (k₂ = 0.62–0.68 g/mg·min, R² = 0.92–0.97), indicando un proceso de quimisorción. El carbón activado de *E. globulus* pirolizado a 120 minutos alcanzó una eficiencia de remoción de 93.0 ± 1.7 %, reduciendo la concentración de arsénico de 0.34 ± 0.01 a 0.02 ± 0.01 mg/L. Estos resultados sugieren que este material representa una alternativa eficiente, sostenible y económica para el tratamiento descentralizado de aguas subterráneas en comunidades rurales vulnerables a la contaminación por arsénico.

Palabras clave: Arsénico, carbón activado, SEM, cinética, isothermas de adsorción, agua subterránea.

Abstract

Arsenic contamination in groundwater is a serious global public health problem. This study evaluated arsenic removal using activated carbon derived from *Eucalyptus globulus* and *E. urograndis* capsules, pyrolyzed at 500°C for 90 and 120 minutes with H₃PO₄ (85%) in a 1:1 (w/v) ratio. Adsorption assays were performed with doses of 1–3 g in 500 mL of groundwater at neutral pH, under stirring at 300 rpm for 120 minutes. A 2³ factorial design allowed evaluating the effect of precursor type, pyrolysis time, and adsorbent dose on removal efficiency. SEM characterization revealed hierarchical porous structures with a coral-like morphology, with *E. globulus* being the most structurally developed material at 120 minutes. ANOVA analysis confirmed the significance of the model (F=111.22, p<0.001, R²=97.99%), identifying the adsorbent dose as the main factor, followed by the precursor type and pyrolysis time. The equilibrium data were fitted to the Freundlich model (R²=0.98, n=3.25 for *E. globulus*), evidencing favorable heterogeneous adsorption in multilayers. The kinetics followed the pseudo-second order model (k₂=0.62–0.68 g/mg min, R²=0.92–0.97), indicating a chemisorption process. *E. globulus* activated carbon pyrolyzed at 120 minutes reached a removal efficiency of 93.0±1.7%, reducing the arsenic concentration from 0.34±0.01 to 0.02±0.01 mg/L. These results suggest that this material represents an efficient, sustainable, and cost-effective alternative for decentralized groundwater treatment in rural communities vulnerable to arsenic contamination.

Keywords: Arsenic, activated carbon, SEM, kinetics, adsorption isotherms, groundwater.