

Jhonatan Mario Uribe Tupa Amaru

Paso 4.1..docx



Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:491410278

Fecha de entrega

3 sep 2025, 10:45 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 sep 2025, 10:57 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Paso 4.1..docx

Tamaño del archivo

5.5 MB

32 páginas

5672 palabras

32.812 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
195 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 2% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos entregados	Olabisi Onabanjo University on 2024-10-05	3%
2	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
3	Internet	www.imss.gob.mx	<1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
5	Internet	hdl.handle.net	<1%
6	Internet	es.scribd.com	<1%
7	Internet	www.mysciencework.com	<1%
8	Internet	www.researchgate.net	<1%
9	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
10	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2021-10-26	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-09	<1%

12	Trabajos entregados	
unhuancavelica on 2021-11-25		<1%
13	Internet	
www.scribd.com		<1%

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



**Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el
uso de carbonato de calcio**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Jimmy Cristian Parizaca Condori
Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, agosto del 202

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el uso de carbonato de calcio"** de los autores **Jimmy Cristian Parizaca Condori, y Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru** tiene un índice de similitud de 5 % 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 21 días del mes de agosto del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 21 día(s) del mes de agosto del año 2025 siendo 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):

Ing. Enrique Mamani Gueda

Gondori Turpo

Yucra Ing. Veronica Haydee' Pari Mamani Rivera

el (la) secretario(a): Msc. Loyda Nigail

y los demás miembros: Msc. Franklyn Elard Zapana

y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo

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

"Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el uso de carbonato de calcio"

del(los) bachiller/es: a) Jimmy Cristian Parizaca Gondori

b) Thonatan Mario Uribe Tupac Amaru

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): Jimmy Cristian Parizaca Gondori

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Thonatan Mario Uribe Tupac Amaru

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

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.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor(a)

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el uso de carbonato de calcio

Treatment of radiographic liquid waste using calcium carbonate

Resumen

La inadecuada gestión de residuos líquidos en clínicas odontológicas genera efluentes con alta concentración de metales pesados, convirtiéndose en un riesgo para la salud pública y los ecosistemas. El presente estudio evaluó la eficiencia del uso de la cal (Cal tipo I (86 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y tipo II (99 % de CaCO_3)) como agente de remoción para dichos contaminantes. Se recolectaron muestras de residuos líquidos provenientes de seis centros odontológicos en la ciudad de Juliaca, Perú. Las soluciones fueron tratadas con diferentes concentraciones de cal (0.3 0.4 0.5 0.6 y 0.7 g/l) y posteriormente analizadas mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente para cuantificar la concentración residual de 21 metales pesados. Los resultados se compararon con los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA (Perú) y la normativa EPA 815-F-00-007 (EE. UU.). Los resultados demostraron que ambos tipos de cal redujeron las concentraciones metálicas, con una eficiencia superior en la cal tipo II a una dosis óptima de 0.6 g/l. se logró una remoción eficaz para varios metales, cumpliendo así los estándares regulatorios. Se concluye que el uso de cal en sus dos tipos muestra buenos resultados de remoción, pero el uso del carbonato de calcio muestra mayor eficiencia, superando el 90 % de remoción en metales como As, Sb, Zn y Cu.

Palabras clave: contaminación, dosificación, residuos líquidos, muestras, carbonato de calcio, metales pesados, centros odontológicos.

Abstract

The inadequate management of liquid waste in dental clinics generates effluents with high concentrations of heavy metals, posing a risk to public health and ecosystems. This study evaluated the efficiency of using lime (Type I lime (86% $\text{Ca}(\text{OH})_2$) and Type II lime (99% CaCO_3)) as a removal agent for these contaminants. Liquid waste samples were collected from six dental centers in the city of Juliaca, Peru. The solutions were treated with different concentrations of lime (0.3, 0.4, 0.5, 0.6, and 0.7 g/l) and then analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry to quantify the residual concentration of 21 heavy metals. The results were compared with the limits established by Supreme Decree No. 010-2019-VIVIENDA (Peru) and EPA regulation 815-F-00-007 (USA). The results showed that both types of lime reduced metal concentrations, with type II lime being more efficient at an optimal dose of 0.6 g/l. Effective removal was achieved for several metals, thus complying with regulatory standards. It is concluded that the use of both types of lime shows good removal results, but the use of calcium carbonate shows greater efficiency, exceeding 90% removal in metals such as As, Sb, Zn, and Cu.

Keywords: contamination, dosing, liquid waste, samples, calcium carbonate, heavy metals, dental centers.

1. Introducción

La investigación sobre el vertimiento de líquidos reveladores y fijadores sin tratamiento previo en los sistemas de alcantarillado ha evidenciado la presencia de metales pesados entre sus componentes. Esta práctica provoca la contaminación de suelos, ríos, lagos y aguas subterráneas, afectando tanto a los ecosistemas como a las fuentes de agua potable (Akpore et al., 2014). Según Putra et al. (2019), estos residuos pueden generar compuestos peligrosos que requieren un manejo adecuado para evitar riesgos ambientales y sanitarios. Tanto el paquete radiográfico como los líquidos de procesamiento contienen elementos que, debido a sus características, pueden ser clasificados como "peligrosos" para la salud humana y el medio ambiente (Romero & Veloso, 2016).

La generación de desechos peligrosos ha experimentado un incremento sostenido, y su adecuada gestión constituye una responsabilidad ineludible para las instituciones generadoras, tanto públicas como privadas, dado su compromiso ambiental y social (MINAM, 2017). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) los desechos médicos dentales se definen como todos aquellos residuos generados por la atención médica, en caso específico de los hospitales odontológicos, los residuos producidos son de naturaleza diversa, presentando variaciones en cuanto a materiales, tamaños, colores y formas, lo que les confiere un carácter heterogéneo. Gurumurthy et al. (2020), mencionan que entre estos se encuentran los desechos líquidos dentales, como los residuos provenientes de radiografías, específicamente los líquidos reveladores y fijadores.

El Ministerio de Salud (MINSA, 2018) indica que los líquidos reveladores y fijadores se consideran dentro de las categorías de sustancias tóxicas, corrosivas y ecotóxicas, debido a la alta contaminación que generan, no solo en el medio ambiente, sino también por el riesgo que representa al contacto directo con la piel. Grigoletto et al. (2011), afirman que la contaminación es constante, además, no se encuentran adecuadamente controlada por las autoridades competentes. Estos efluentes líquidos radiográficos constituyen residuos altamente contaminantes por su contenido tóxico. Según Romero & Veloso (2016), indican que para la obtención de imágenes intraorales se utilizan paquetes radiográficos que contienen una película en su interior, la cual, al ser expuesta a los rayos X, requiere posteriormente un proceso de revelado. Este

proceso implica el uso de líquidos reveladores y fijadores, los cuales están compuestos por sustancias químicas como sulfito de sodio, dietilenglicol, hidroquinona, carbonato de sodio, EDTA y bromato de potasio. Chiegwu et al. (2016), resaltan en su estudio que el procedimiento implica una serie de reacciones químicas que permiten el revelado de la película radiográfica. Violetta & Tetiana (2024), indican que actualmente el proceso se realiza de forma automatizada, en algunos casos continúa siendo necesario el procedimiento manual, especialmente en radiografías intraorales.

El proceso consta de cuatro fases: revelado, fijación, lavado y secado. Según Manja & Kumar (2021), las soluciones utilizadas en el revelado y fijador contienen diversos componentes, cada uno con funciones específicas para el desarrollo de las imágenes. De Santana et al (2024), en su revista indican que los componentes de la solución fijadora incluyen un agente aclarador, un acidificante, un conservante y un endurecedor. Por su parte, la solución reveladora está compuesta por un agente revelador, un acelerador, un restrictor y un conservante (Manja & Kumar, 2021).

Benaïssa et al. (2020), realizaron una investigación sobre la contaminación por metales pesados en efluentes líquidos, con el objetivo de cuantificar el contenido de mercurio y otros metales en clínicas dentales. Entre los elementos analizados se encuentran Hg, Cu, Zn, Fe, Ni, Mn, Cr, Cd y Pb. El estudio se llevó a cabo en tres ciudades vecinas, donde se analizaron las aguas residuales y se compararon los resultados con los valores estándar aceptables.

La OMS (2018), señala que el carbonato de calcio, formado por la reacción entre hidróxido de calcio y bicarbonato, es un compuesto indispensable en los procesos de tratamiento de agua. Radovenchyk et al (2022), indican que aplicación del cal permite ablandar y purificar el agua, eliminar su turbiedad, neutralizar la acidez, eliminar impurezas, reducir la presencia de virus y bacterias, así como remover la mayoría de los metales pesados disueltos. Benalia et al. (2021), indicaron que la cal es un agente precipitante preferido por su viabilidad y alta eficiencia en la eliminación de metales pesados. Asimismo, Groznov (2023), destaca que la lechada de cal se emplea en estaciones automatizadas para la neutralización de aguas residuales industriales que contienen iones metálicos. De igual forma, Anagnostopoulos & Heuss-Aßbichler (2024), realizaron un estudio en el que se utiliza lechada de cal en procesos de precipitación química, alcanzando tasas de eliminación de metales pesados de hasta el 99.9%.

En este contexto, considerando la relevancia ambiental de los residuos odontológicos, la presente investigación busca ofrecer una solución para el tratamiento de los metales pesados contenidos en los residuos líquidos reveladores y fijadores provenientes de clínicas odontológicas, los cuales generan un impacto negativo en el medio ambiente. Además, la metodología propuesta resulta viable y, sobre todo, utiliza cal tipo I y tipo II, un reactivo de fácil acceso en el Perú. Este será empleado en el tratamiento previo al vertido de dichos residuos en el sistema de alcantarillado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de experimentación

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, ubicadas en el kilómetro 6 de Chullunquiani, Juliaca–Puno, con coordenadas UTM: Este (X): 373 533 m, Norte (Y): 8 284 469 m, Zona UTM: 19 Sur (WGS84). Posteriormente, se realizó el análisis de barrido de metales pesados en el laboratorio BHIOS Laboratorio SRL, ubicado en la Av. Quiñonez, Mz B, Lote 06, Arequipa, Perú.

2.2. Recolección y muestreo de residuos odontológicos

En la presente investigación, para la obtención de muestras se distribuyeron 06 recipientes a 06 clínicas odontológicas ubicadas en la ciudad de Juliaca, Puno, Perú. Los frascos utilizados permiten un adecuado rendimiento de filtración, así como la reducción de materia orgánica mediante procesos indirectos de sedimentación (Schott, 2020).

El volumen total de residuos odontológicos recolectados fue de 21 litros. Las muestras fueron obtenidas durante un período de 12 meses, realizándose un total de 07 pruebas. Estas muestras fueron inicialmente analizadas en el laboratorio de bioquímica Ambiental de la Universidad Peruana Unión y posteriormente fueron enviadas de forma inmediata al laboratorio BHIOS Laboratorios SRL para su análisis complementario.

2.3. Obtención de la cal tipo I y cal tipo II

La cal tipo I, también conocida como cal apagada, se obtuvo de la empresa La Calera, con una concentración del 86 % de pureza de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Los datos correspondientes al porcentaje de pureza fueron obtenidos de las respectivas fichas técnicas, las cuales se detallan en la Tabla 2. La cal tipo II fue adquirido en la empresa química Grupo Sur Química, con 99 % de pureza de CaCO_3 , como se muestra en la Tabla 3.

2.4. Determinación de la dosis optima

Los experimentos para determinar la dosis optima se realizaron con el equipo de test de jarras JLT6 Velp Scientifica (Bouyer et al., 2005), en el laboratorio de Saneamiento ambiental de la Universidad Peruana Unión. Para evaluar la eficiencia de remoción se utilizaron como reactivos el cal tipo I y cal tipo II (Benalia et al., 2021). Se trabajó con los siguientes materiales: 6 vasos precipitados de 1000 ml, 6 probetas, 3 pipetas, 6 matraz de Erlenmeyer, 6 luna de reloj, 8 jeringas de 10 ml, 2 espátulas. Por ello también se utilizó 01 Equipos Test de jarras de 6 posiciones, 1 GPS, 1 turbímetro, 1 multiparámetro 1 balanza analítica Sartorius de precisión de 1000 g, y un cronometro. Los insumos utilizados para tratar los residuos de líquidos odontológicos fueron; agua destilada, cal tipo I y cal tipo II.

Los experimentos se realizaron con la siguiente preparación; se preparó y rotulo 06 vasos precipitados de 1000 ml de capacidad, se llenó cada vaso 500 ml de muestra. Asimismo, se determinó los parámetros de pH inicial 11.8, turbidez 70 (UNT) y temperatura de 16. 7°C. Para la determinación de la dosificación de la lechada, se prepararon 06 matraces de Erlenmeyer de 100 ml, con el fin de obtener soluciones al 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7%; para ello se disolvieron respectivamente 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 gramos de cal en 100 ml de agua destilada para cada dosificación, procediendo luego a una agitación vigorosa (Tejada Mayta, 2017). Posteriormente, se realizó una agitación inicial a 300 rpm durante 1 min después de agregar la dosis correspondiente. Luego, se redujo la velocidad a 40 rpm durante 20 minutos. Finalizada la agitación, se dejará sedimentar por un período adicional de 20 minutos y se tomó 40 ml para la medición de turbidez final utilizando el turbímetro 2100Q Hach. En cada etapa del proceso se registraron los datos obtenidos de manera sistemática.

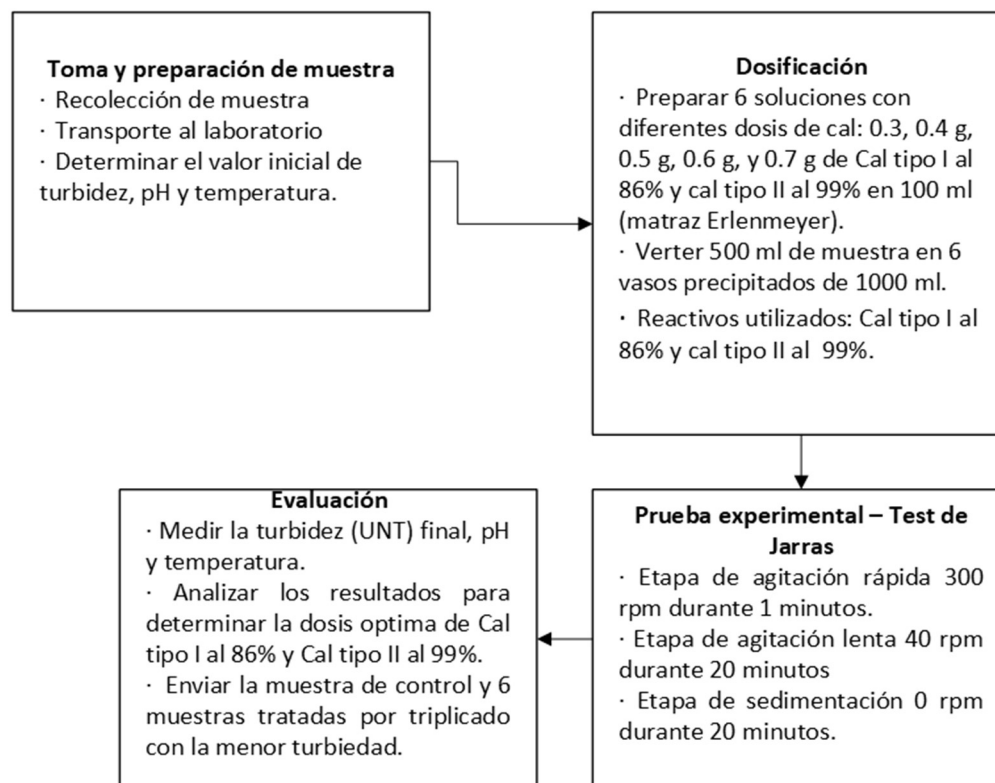
Después de cada resultado obtenido de las 7 pruebas efectuadas; Se seleccionó 6 tratamientos óptimos y 1 tratamiento de control y se enviaron para la prueba de técnica de barrido de metales el cual consiste en formar un precipitado insoluble que adsorbe los metales disueltos en agua, eliminándolos por sedimentación o filtración (Fei & Hu, 2023).

2.5. Esquema experimental

La Figura 1 muestra la determinación de secuencia se realizó de acuerdo con el esquema experimental mostrado, dando mención que la temperatura, pH y turbiedad se midieron en el laboratorio de la universidad, ya que los datos de inicio y final fueron parámetros. necesarios para realizar la técnica de barrido de metales.

Figura 1

Procedimiento de tratamiento de agua odontológica con cal



2.6. Diseño estadístico experimental

La matriz de diseño o arreglo factorial es el conjunto de tratamientos experimentales que pueden formarse considerando las posibles combinaciones de los de factores con variables (Álvarez, 2014). Fuera del arreglo factorial se debe considerar 01 muestra de control o inicial.

El diseño experimental es un arreglo factorial 2A x 6B por 3 repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales. Factor A: Reactivo químicos, a1 = cal tipo I al 86 % y a2 = cal tipo II al 99 % Factor B: Dosificaciones b1 = 0 g/l, b2 = 0.3 g/l, b3 = 0.4 g/l, b4= 0.5 g/l, b5 = 0.6 g/l y b6= 0.7g/l. Con condiciones de operación del test de jarra de 300 rpm por 1 minuto, 40 rpm por 20 minutos y 0 rpm por 20 minutos, evaluando como variable respuesta la turbiedad (UNT).

Tabla 1.

Arreglo factorial con unidades experimentales con la prueba de Jarras con los reactivos de la cal tipo I y cal tipo II.

Reactivos		Dosificación		
Cal tipo I al 86% Ca(OH) ₂	a1 x b1x R1	a1 x b1x R2	a1 x b1x R3	
	a1 x b2 x R1	a1 x b2 x R2	a1 x b2 x R3	
	a1 x b3 x R1	a1 x b3 x R2	a1 x b3 x R3	
	a1 x b4 x R1	a1 x b4 x R2	a1 x b4 x R3	
	a1 x b5x R1	a1 x b5x R2	a1 x b5x R3	
	a1 x b6 x R1	a1 x b6 x R2	a1 x b6 x R3	
Cal tipo II al 99% CaCO ₃	a2 x b1x R1	a2 x b1x R2	a2 x b1x R3	
	a2 x b2 x R1	a2 x b2 x R2	a2 x b2 x R3	
	a2 x b3 x R1	a2 x b3 x R2	a2 x b3 x R3	
	a2 x b4 x R1	a2 x b4 x R2	a2 x b4 x R3	
	a2 x b5x R1	a2 x b5x R2	a2 x b5x R3	
	a2 x b6 x R1	a2 x b6 x R2	a2 x b6 x R3	

Nota: A: Reactivo; a₁: cal tipo I al 86%(CaCO₃), a₂: cal tipo II al 99% Ca (OH)₂; b: Dosificaciones R: Repetición.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de cal

3.2. Cal tipo I y tipo II

La cal tipo I presenta un 85.8% de pureza de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; la cal tipo II se caracteriza por ser un producto de alta pureza, con un contenido del 98.5% de CaCO_3 , lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales exigentes.

Tabla 2.

Valores de composición de la cal tipo I y tipo II.

Caracterización de cal tipo I y cal tipo II														
Propiedades Físicas	Ca (OH) ₂	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Mg	SiO ₂	Humedad	CaO	Al	Hg	Pb	Cd	As	Cr
Cal Tipo I (86%)	85,80%	—	0.13%	0.95%	—	2.00%	2.00%	65.0%	—	—	—	—	—	—
Cal Tipo II (99%)	—	98.50%	<232 ppm	—	<1252 ppm	<0.5 ppm	—	—	<0.20 ppm	<0.5 ppm	<32 ppm	<9.1 ppm	<0.1 ppm	<17.7 ppm

Fuente: Cal La Calera (2024) & Grupo Sur (2022).

3.3. Caracterización de la muestra de residuos líquidos odontológicos

La tabla 3 podemos observar los datos obtenidos correspondientes a la muestra inicial obtenida de los centros odontológicos mediante la aplicación del método Metales Totales por ICP – MS con sin el reactivo.

Tabla 3.

Valores de concentración de metales pesados detectados en los residuos de las aguas residuales de centros odontológicos.

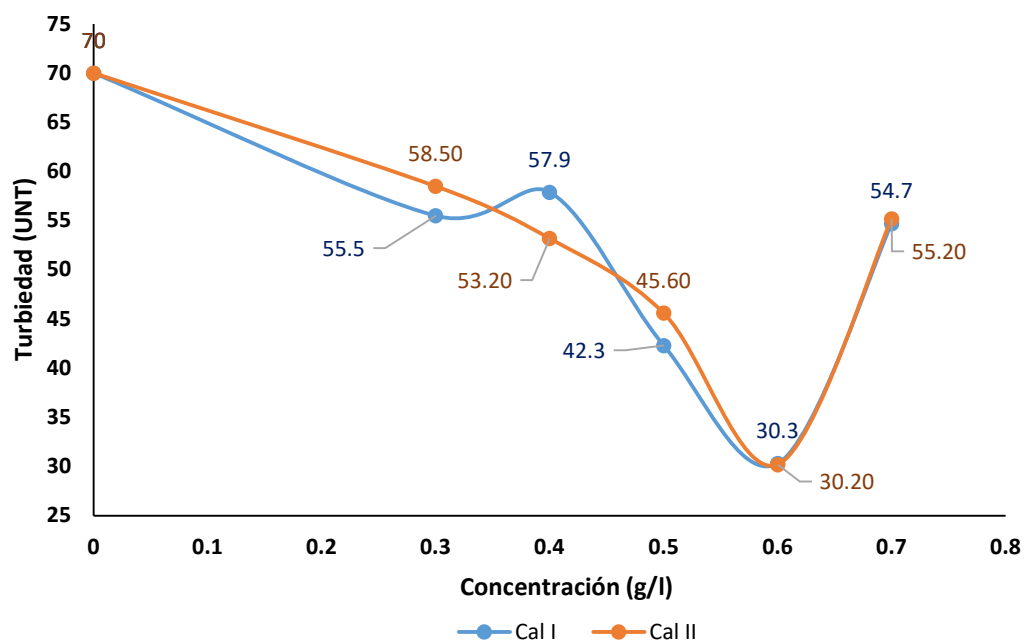
Metales	Valor (mg/l)
Cromo	0.050000
Cobre	0.200000
Mercurio	0.010000
Plata	0.034800
Berilio	0.000070
Cobalto	0.000300
Hierro	0.200000
Titanio	0.002000
Fosforo	0.200000
Cadmio	0.000400
Níquel	0.012900
Bismuto	0.003300
Litio	0.060000
Cesio	0.003560
Estaño	0.000800
Estroncio	0.224000
Plomo	0.020000
Antimonio	0.002800
Zinc	0.086000
Arsénico	0.002710
Vanadio	0.000500

3.4. Pruebas de Jarras

La Figura 2 presenta el efecto de las diferentes concentraciones de cal tipo I y cal tipo II sobre la turbidez (UNT) del agua residual odontológica. Se observa cómo la variación en la dosificación de ambos reactivos influye directamente en la reducción de la turbidez, evidenciando su eficacia en el proceso de tratamiento de aguas.

Figura 2.

Pruebas de coagulación y floculación del agua residual odontológica.



3.5. Remoción de metales pesados

La Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para cada metal, a partir del análisis de 06 muestras tratadas con cal a diferentes concentraciones de carbonato de calcio. Las diferencias observadas se explican por la variabilidad en el comportamiento químico de los metales frente a los reactivos utilizados.

Tabla 4

Resultados de las concentraciones de los metales pesados después de la aplicación de las cal a diferentes concentraciones.

Metales Pesados	Cal tipo I R1	Cal tipo I R2	Cal tipo I R3	Cal tipo II R1	Cal tipo II R2	Cal tipo II R3
Cromo	0.001820	0.001830	0.001730	0.002120	0.003910	0.001810
Cobre	0.010000	0.018000	0.023000	0.006000	0.006000	0.006000
Mercurio	0.001200	0.000700	0.000700	0.000800	0.000800	0.000800
Plata	0.005460	0.003240	0.003850	0.006640	0.003120	0.003250
Berilio	0.000020	0.000020	0.000020	0.000020	0.000020	0.000020
Cobalto	0.000140	0.000200	0.000190	0.000090	0.000120	0.000080
Bismuto	0.002100	0.002100	0.002100	0.086000	0.078000	0.072000
Estaño	0.000600	0.000500	0.000500	0.001300	0.000500	0.000700
Fosforo	0.120000	0.120000	0.190000	0.120000	0.100000	0.090000
Níquel	0.009400	0.009400	0.009800	0.000200	0.000250	0.000200
Antimonio	0.002000	0.002100	0.002300	0.008500	0.008900	0.008900
Cesio	0.002670	0.002630	0.002900	0.002400	0.002300	0.002200
Plomo	0.015700	0.016000	0.016100	0.044890	0.045980	0.046600
Cadmio	0.000330	0.000280	0.000350	0.002740	0.002740	0.002760
Zinc	0.070000	0.066000	0.072000	0.000700	0.000800	0.000400
Litio	0.047580	0.050380	0.050400	0.178500	0.180100	0.174100
Titanio	0.003700	0.002900	0.003300	0.015900	0.015700	0.016100
Hierro	0.179000	0.143000	0.180000	0.002200	0.002300	0.002200
Estroncio	0.191300	0.187300	0.200100	0.061000	0.091000	0.057000
Arsénico	0.002430	0.002460	0.002560	0.002110	0.002370	0.002430
Vanadio	0.000500	0.000400	0.000530	0.000500	0.000400	0.000500

Nota: R1: Repetición 1; R2: Repetición 2 y R3: Repetición 3.

Fuente: Bhios laboratorios S.R.L. (2017).

3.6. Cumplimiento normativo

La tabla 5 muestra los valores iniciales del agua proveniente de las clínicas odontológicas, y los resultados después de haber aplicado cal a diferentes concentraciones, además muestra el requerimiento de la norma peruana norteamericana.

Tabla 5.
Remoción de los metales pesados

Parámetro	Valor Inicial	Cal Tipo I	Cal tipo II	Decreto Supremo N.º 010-2019-vivienda.		EPA 815 - F-00 - 007	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Cumple (SI/NO)	mg/l	Cumple (SI/NO)
Estroncio	0.224000	0.192900	0.177567	—	—	—	—
Fosforo	0.200000	0.167333	0.103333	—	—	—	—
Hierro	0.200000	0.091533	0.078667	—	—	—	—
Zinc	0.086000	0.069333	0.069667	10.0000	SI	—	—
Litio	0.060000	0.049453	0.045823	—	—	—	—
Plomo	0.020000	0.017000	0.015900	0.5000	SI	0.0150	NO
Níquel	0.012900	0.015767	0.008767	4.0000	SI	—	—
Cobre	0.200000	0.009533	0.006667	3.0000	SI	1.3000	SI
Plata	0.0348000	0.004183	0.004337	—	—	—	—
Cesio	0.003560	0.003300	0.002747	—	—	—	—
Cromo	0.050000	0.002733	0.002613	0.5000	SI	0.1000	SI
Arsénico	0.002710	0.002483	0.002303	0.5000	SI	0.0500	SI
Bismuto	0.003300	0.002133	0.002300	—	—	—	—
Antimonio	0.002800	0.002100	0.002233	—	—	—	—
Mercurio	0.010000	0.001533	0.000900	0.0200	SI	0.0020	SI
Titanio	0.001000	0.000867	0.000833	—	—	—	—
Estaño	0.000800	0.000733	0.000633	—	—	—	—
Vanadio	0.000500	0.000477	0.000467	—	—	—	—
Cadmio	0.000400	0.000267	0.000217	0.2000	SI	0.0050	SI
Cobalto	0.000300	0.000177	0.000097	—	—	—	—
Berilio	0.0001000	0.000020	0.000020	—	—	0.0040	SI

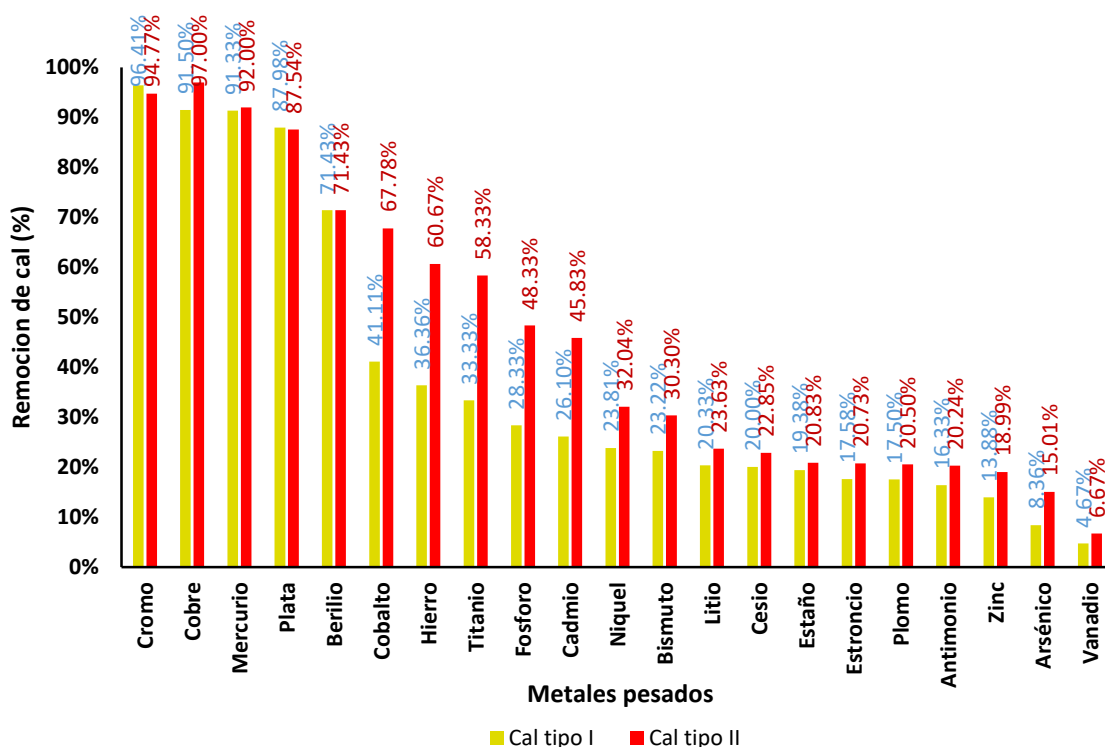
Fuente: Environmental Protection Agency,(2012) & Ministerio de Vivienda, (2019).

3.7. Eficiencia de remoción

La figura 3 muestra el porcentaje de remoción de 21 metales pesados utilizando cal hidratada y carbonato de calcio en dos niveles: cal tipo I al 86% (barras rojas) y cal tipo II al 99 % (barras amarillas). Este análisis busca comparar el comportamiento de ambos compuestos en la eliminación de contaminantes presentes en residuos de líquidos radiográficos odontológicos.

Figura 3.

Remoción de la cal tipo I y la cal tipo 2.



La figura 3 evidencia que, aunque ambos tipos de cal presentan capacidades de remoción similares para muchos metales, la cal tipo II tiende a ofrecer una eficiencia ligeramente superior y más constante. No obstante, para ciertos metales específicos, la cal tipo I puede ser igual de efectiva.

3.8. Concentración de elementos post tratamiento con cal tipo I y tipo II

La tabla 6 muestra la concentración de elementos (mg/l) en la muestra inicial y después del tratamiento con cal tipo I y tipo II.

Tabla 6.
Concentración de elementos

Parámetro	Valor inicial (mg/l)	Cal tipo I (mg/l)	Cal tipo II (mg/l)
Antimonio	0.0028±0.001 ^b	0.0021±0.001 ^a	0.0023±0.001 ^b
Arsénico	0.0207±0.001 ^c	0.025±0.001 ^b	0.0023±0.001 ^a
Berilio	0.0001±0.001 ^a	0.0001±0.001 ^a	0.0001±0.001 ^a
Bismuto	0.0033±0.001 ^c	0.0022±0.001 ^b	0.0023±0.001 ^b
Cadmio	0.0040±0.001 ^b	0.0003±0.001 ^b	0.0002±0.001 ^a
Cesio	0.0036±0.001 ^c	0.0033±0.001 ^b	0.0028±0.001 ^a
Cobalto	0.0003±0.001 ^b	0.0002±0.001 ^{ab}	0.0001±0.001 ^a
Cobre	0.2000±0.001 ^c	0.0096±0.001 ^b	0.0067±0.001 ^a
Cromo	0.0500±0.001 ^b	0.0028±0.001 ^a	0.0026±0.001 ^a
Estroncio	0.2240±0.001 ^c	0.1929±0.001 ^b	0.1776±0.001 ^a
Estaño	0.0008±0.001 ^b	0.0008±0.001 ^{ab}	0.0007±0.001 ^a
Fósforo	0.2000±0.001 ^c	0.1674±0.001 ^b	0.1034±0.001 ^a
Hierro	0.2000±0.001 ^c	0.0916±0.001 ^b	0.0787±0.001 ^a
Litio	0.0600±0.001 ^c	0.0495±0.001 ^b	0.0459±0.001 ^a
Mercurio	0.0100±0.001 ^c	0.0016±0.001 ^b	0.0009±0.001 ^a
Níquel	0.0129±0.001 ^b	0.0158±0.001 ^c	0.0088±0.001 ^a
Plomo	0.0200±0.001 ^c	0.0170±0.001 ^b	0.0159±0.001 ^a
Plata	0.0348±0.001 ^c	0.0042±0.001 ^a	0.0044±0.001 ^b
Titanio	0.0010±0.001 ^b	0.0009±0.001 ^{ab}	0.0009±0.001 ^a
Vanadio	0.005±0.001 ^a	0.0005±0.001 ^a	0.0005±0.001 ^a
Zinc	0.0860±0.001 ^c	0.0694±0.001 ^a	0.0697±0.001 ^b

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

4. DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los tipos de cal

La caracterización de la cal es clave para determinar su aplicación en procesos industriales, especialmente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados, como en el caso de desechos líquidos radiográficos odontológicos Soto Cruz et al. (2024). La cal tipo II presenta concentraciones más bajas de metales pesados como plomo (<32 ppm), cadmio (<9.1 ppm), mercurio (<0.5 ppm), arsénico (<0.1 ppm) y cromo (<17.7 ppm). Esto representa una ventaja ambiental y sanitaria frente a la cal tipo I, ya que el uso de un material más puro reduce el riesgo de reintroducción de metales tóxicos al medio ambiente durante su uso. El alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) en la cal tipo II (98.5%) la hace más efectiva en procesos de precipitación de metales pesados, neutralización de pH y floculación. Por tanto, es preferible para aplicaciones exigentes donde se requiere una alta eficiencia en la remoción de contaminantes.

4.2. Caracterización de residuos líquidos odontológicos

La caracterización de los líquidos odontológicos sin reactivos establece una línea base objetiva para evaluar el grado de contaminación real, lo que nos permite también comparar la eficiencia de los reactivos tipo I y tipo II, cumpliendo con criterios técnicos normativos. La caracterización inicial logro detectar una variedad de 21 metales y esto sugiere que no debe ser vertida al sistema de alcantarillado si un previo tratamiento. Según Beer et al. (2015), el análisis inicial por el método técnica de barrido de metales revela una presencia considerable de múltiples metales pesados en los residuos líquidos generados por centros odontológicos, lo que indica una problemática ambiental.

4.3. Aplicación del método metales totales por ICP- MS con los reactivos de cal tipo I y cal tipo II

El análisis cuantitativo muestra que la aplicación de cal tipo I y tipo II logra una reducción significativa en las concentraciones de metales pesados presentes en residuos líquidos odontológicos. La cal tipo II presenta mejor desempeño general en la

11 reducción de elementos como hierro, cobre, titanio, cobalto y cadmio. Por ejemplo, el hierro disminuye con cal tipo II a valores tan bajos como 0.072 mg/l, frente a 0.143–0.179 mg/l con cal tipo I. El cobre, elemento crítico por su toxicidad, llega a 0.006 mg/l con cal tipo II, menor que los valores obtenidos con cal tipo I 0.010–0.023 mg/l. Según Donovan et al. (2016), menciona en su estudio que el grado de pureza de la cal **tiene un impacto directo en la eficiencia del tratamiento**, lo cual es fundamental para aplicaciones en tratamiento de los residuos de las clínicas odontológicas antes de su vertimiento al sistema de alcantarillado donde se requiere un cumplimiento normativo.

4.4. Remoción de metales pesados y cumplimiento normativo

La remoción de metales entre la cal tipo I y tipo II muestran que ambos tratamientos son efectivos sin embargo la cal de tipo II muestra un promedio mayor de reducción de contaminantes como se observa en metales como el hierro que se reduce de 0.200 a 0.078 mg/l con cal tipo II mientras que con cal tipo I llega a 0.091 mg/l. el mercurio se reduce a 0.0009 mg/l con cal tipo II, por debajo incluso del límite EPA 0.002 mg/l y el cobre alcanza solo 0.006 mg/l con cal tipo II, inferior al límite EPA 1.3 mg/l. Según el tratamiento con la cal tipo I y tipo II confirma que la intervención química no solo es técnicamente efectiva, sino también jurídicamente suficiente para habilitar el vertido de estos residuos tratados al ambiente o sistemas de alcantarillado, bajo las normativas vigentes.

4.5. Concentración de elementos post tratamiento con cal tipo I y tipo II

El análisis comparativo de las concentraciones iniciales de metales y metaloides frente a los tratamientos con cal tipo I y cal tipo II reveló una tendencia general de reducción significativa ($p < 0.05$) en la mayoría de los parámetros evaluados, lo que respalda la eficacia de la precipitación química como estrategia de remoción de contaminantes. Los elementos de mayor toxicidad, como arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cromo, mostraron reducciones notables tras el tratamiento. El arsénico disminuyó de 0.0207 mg/l a 0.0023 mg/l con cal tipo II, alcanzando valores inferiores a los obtenidos con cal tipo I (0.025 mg/L), lo que evidencia una mayor eficiencia del primer tratamiento. De manera similar, el mercurio descendió de 0.0100 mg/L a 0.0009 mg/L, lo que representa una reducción superior al 90 %.

Asimismo, metales de relevancia ambiental como cobre, hierro, fósforo y estroncio siguieron una tendencia decreciente marcada. En particular, el cobre pasó de 0.2000 mg/L a 0.0067 mg/L con cal tipo II, logrando una remoción superior al 95 %. Sin embargo, algunos elementos mostraron un comportamiento atípico. En el caso del níquel, se observó un incremento con cal tipo I (0.0158 mg/L) respecto al valor inicial (0.0129 mg/L), posiblemente asociado a procesos de redisolución o a la formación de complejos solubles, aunque finalmente se redujo con cal tipo II (0.0088 mg/L). En cuanto a la plata, la concentración disminuyó con cal tipo I (0.0042 mg/L), mientras que con cal tipo II (0.0044 mg/L) se mantuvo en valores similares, sin diferencias estadísticamente relevantes.

Por otra parte, elementos presentes en concentraciones mínimas, como berilio, titanio y estaño, no registraron variaciones significativas ($p > 0.05$), manteniéndose prácticamente constantes en los tres tratamientos, lo que sugiere una baja movilidad o insolubilidad bajo las condiciones experimentales. Finalmente, los análisis estadísticos, representados mediante superíndices de letras (a, b, c), confirmaron la existencia de diferencias significativas entre los valores iniciales y los obtenidos tras los tratamientos con cal, destacándose la cal tipo II como el método más eficiente en la reducción de contaminantes en la mayoría de los casos.

5. CONCLUSIONES

El tratamiento de los efluentes radiográficos generados en clínicas odontológicas mediante la aplicación de cal tipo I (86 % de Ca(OH)_2) y cal tipo II (99 % de CaCO_3) resultó eficaz para la remoción de metales pesados presentes en dichos residuos. En las muestras sin tratamiento se identificaron concentraciones elevadas de seis metales tóxicos: hierro (0,200 mg/l), mercurio (0,010 mg/l), cobre (0,200 mg/l), cadmio (0,0004 mg/l), plomo (0,20 mg/l) y níquel (0,0129 mg/l); en total se detectaron 21 elementos, varios de los cuales, como el plomo y el mercurio, superan los límites internacionales establecidos.

Al aplicar la cal en concentraciones de 0,3 a 0,7 g/l bajo condiciones estandarizadas (ensayo de jarras), se observaron remociones significativas, siendo óptima la dosis de 0,6 g/l. En este contexto, la cal tipo II mostró mayor eficiencia, superando el 90 % de remoción en metales como arsénico, antimonio, zinc y cobre, gracias a su alta pureza y bajo contenido de impurezas metálicas. En comparación, la

cal tipo I presentó eficiencias ligeramente menores. Asimismo, metales como cromo, estaño, bismuto y cadmio evidenciaron diferencias importantes a favor de la cal tipo II, lo que refleja su mayor capacidad para formar hidróxidos insolubles y estabilizar el pH durante el proceso de tratamiento.

4 En cuanto a resultados específicos, el hierro se redujo de 0,200 mg/l a 0,078 mg/l con cal tipo II, frente a 0,090 mg/l con cal tipo I. El mercurio, altamente tóxico incluso a niveles mínimos, fue reducido de 0,0100 mg/l a 0,0009 mg/l con cal tipo II, quedando muy por debajo del límite EPA (0,002 mg/l), lo que confirma su gran capacidad de remoción. De igual manera, el cobre disminuyó de 0,2000 mg/l a 0,0067 mg/l, cumpliendo ampliamente los límites establecidos por la normativa nacional (3,0 mg/l) e internacional (1,3 mg/l).

8 Finalmente, al comparar las concentraciones residuales con los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA (Perú) y la normativa EPA 815-F-00-007 (EE.UU.), se concluye que el tratamiento con cal permite cumplir con los estándares ambientales vigentes, con excepción del plomo, cuyo valor residual (0,0159 mg/l) apenas supera el límite EPA (0,015 mg/l), aunque se mantiene dentro del valor permitido por la normativa peruana (0,5 mg/l). Por tanto, se considera una opción técnicamente viable y jurídicamente aceptable para el vertimiento controlado, con seguimiento continuo.

6. Referencias

- Akpor, O., Ohiobor, G. O., & Olaolu, T. (2014). Heavy Metal Pollutants in Wastewater Effluents: Sources, Effects and Remediation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2, 37. <https://doi.org/10.11648/J.ABB.20140204.11>
- Álvarez, H. (2014). *Regresión y Diseño Experimental*. https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/2e._analisis_de_varianza_de_disenos_experimentales-multifactorial.pdf
- Anagnostopoulos, I., & Heuss-Aßbichler, S. (2024). Recovery of Different Cu-Phases from Industrial Wastewater. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15010023>
- Beer, M., Beer, M., Doucet, F., Maree, J., & Liebenberg, L. (2015). Synthesis of high-purity precipitated calcium carbonate during the process of recovery of elemental sulphur from gypsum waste. *Waste Management*, 46, 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.023>

- Benaïssa, A., Madjram, M. S., Taouk, B., & Abdelouahed, L. (2020). Heavy metal pollution from dental clinics ↓ Part 1: Annual emissions assessment. *Pollution*, 6(3), 611–626. <https://doi.org/10.22059/POLL.2020.298433.758>
- Benalia, M., Youcef, L., Bouaziz, M., Achour, S., & Menasra, H. (2021). Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater by Chemical Precipitation: Mechanisms and Sludge Characterization. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47, 5587–5599. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05525-7>
- Bhios laboratorios S.R.L. (2017). *Acreditacion de Laboratorios*. https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrNZ_JR6ApoHwIAxwtU04lQ;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1746754898/RO=10/RU=https%3A%2F%2Fwww.inacal.gob.pe%2Finacal%2Ffiles%2Fcreditacion%2FLE%2FDirectorio%2520de%2520Acreditados%2FRev_436_Directorio_LE
- Bouyer, D., Escudié, R., & Liné, A. (2005). Experimental Analysis of Hydrodynamics in a Jar-test. *Process Safety and Environmental Protection*, 83, 22–30. <https://doi.org/10.1205/PSEP.03109>
- Cal La Calera. (2024). *Ficha técnica - cal hidratada*. <https://lcalera.com.bo/club-la-calera/>
- Chiegwu, H. U., Ugwuanyi, D., Ogenyi, S., Chuks, H., & Mbakwe, K. (2016). *Hepatic cells and enzymes reactions in wistar rats exposed to x-ray film processing chemicals*. <https://consensus.app/papers/hepatic-cells-and-enzymes-reactions-in-wistar-rats-exposed-ogenyi-chuks/a178f06935d451fb981e95e00656424f/>
- De Santana, I. H. G., De Souza, M. M., Viana, M. R. M., Felix, K. D., Da Silva Filho, S. L. G., Cirilo, I. B. A., Madeiro, M. D. S., Pinto, M. R. C. L., De Melo Pereira, J. H., Alves, Y. B., Smith, M. I. E., Da Silva, F. R. M., Paodjuenas, A. V. M., Santos, D. T. B., Da Cunha, D. B., & De Sales, M. A. O. (2024). Characterization by x-ray fluorescence (FRX) of precipitate from dental radiographic processing. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.9-366>
- Donovan, A., Adams, C., Yinfa, Stephan, C., Eichholz, T., & Shi, H. (2016). Single particle ICP-MS characterization of titanium dioxide, silver, and gold nanoparticles during drinking water treatment. *Chemosphere*, 144, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.081>
- Envorimental Protection Agency. (2012). *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua*. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/estandares.html>
- Fei, Y., & Hu, Y. (2023). Recent progress in removal of heavy metals from wastewater: A comprehensive review. *Chemosphere*, 139077. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139077>
- Grigoletto, J., Santos, C., Albertini, L. B., & Takayanagui, A. M. M. (2011). Situação do gerenciamento de efluentes de processamento radiográfico em serviços de saúde. *Radiologia Brasileira*, 44, 301–307. <https://doi.org/10.1590/S0100-39842011000500008>
- Groznov, I. N. (2023). Automated station for neutralization of mine and underspoil

- effluents from heavy metal ions. *Mining Industry Journal (Gornay Promishlennost)*. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-33-36>
- Grupo Sur. (2022). *Ficha tecnica del carboanto de calcio industrial 325*. <https://www.gruposur.com/web/carbonato-de-calcio-industrial-325/carbonato-de-calcio-325/>
- Gurumurthy, K., Ganapathy, D., & Sasanka, K. (2020). Awareness on disposal of liquid waste in dentistry among dental students. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. <https://doi.org/10.26452/ijrps.v11ispl3.3047>
- Manja, C. D., & Kumar, H. (2021). Electrolysis method to determine the amount of silver in occlusal and periapical films. *International Journal of Dentistry Research*. <https://doi.org/10.31254/dentistry.2021.6103>
- Ministerio de Vivienda. (2019). Ds-010-2019-Vivienda. In *Decreto Supremo Que Aprueba El Reglamento De Valores Máximos Admisibles (Vma) Para Las Descargas De Aguas Residuales No Domésticas En El Sistema De Alcantarillado Sanitario*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/306588/DS_010-2019-VIVIENDA.pdf?v=1554760385
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 014-2017: Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*, 32. <http://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>
- MINSa. (2018). Nts N° 144 -Minsa/2018/Digesa. *Diario Oficial*, 90, 124. http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/Residuos_Solidos_Hospitalarios_Nor mativa_COVID-19.asp#:~:text=NTS N° 144-MINSA,Covid-19 en el Perú.
- OMS. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1> (accessed 12 September 2024)
- Putra, A., Sulfiana, E., Amaliyah, N., Hayat, A., & Arsyad, H. (2019). *Hazardous Content Removal and Silver Nanoparticle Recovery from Liquid Radiography Waste Using Microwave Plasma*. 29, 369–373. <https://doi.org/10.18280/rcma.290605>
- Radovenchyk, V., Hordiienko, K., Radovenchyk, Y., & Krysenko, T. (2022). The specifics of chemical sedimentation of calcium ions from diluted aqueous solutions. *Proceedings of the NTUU "Igor Sikorsky KPI". Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260353>
- Romero, M., & Veloso, C. (2016). Peligrosidad de los componentes del paquete radiográfico intraoral y líquidos de procesado. *Rev. Ateneo Argent. Odontol*, 55(1), 57–63. <https://www.ateneo-odontologia.org.ar/articulos/lv01/articulo8.pdf>
- Schott, G. (2020). Jar Testing Made Easy. *Opflow*. <https://doi.org/10.1002/opfl.1411>
- Soto-Cruz, F., Pérez-Moreno, S., Ceccotti, E., Barba-Lobo, A., Bolivar, J., Casas-Ruiz, M., & Gázquez, M. (2024). Valorisation diagnosis of waste from the decontamination of phosphogypsum leachates through a combined calcium

carbonate/hydroxide process. *Heliyon*, 10.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30610>

Tejada Mayta, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago - B*. 122. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>

Violetta, P., & Tetiana, L. (2024). Analysis of ways to automate the dental clinic's workflow. *System Technologies*. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-154-2024-07>

7. Panel fotográfico

Figura 4

Obtención de la muestra.



Figura 5.

Preparación de muestra



Figura 6.
prueba de jarras



8. Anexos

Anexo 1.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0694-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 28 de noviembre de 2023

VISTO:

El expediente de **Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru**, identificado(a) con Código Universitario N° 201421126 y **Jimmy Cristian Parizaca Condori**, identificado(a) con Código Universitario N° 201612434, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru** y **Jimmy Cristian Parizaca Condori**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el uso de carbonato de calcio" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 28 de noviembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Tratamiento de desechos líquidos radiográficos mediante el uso de carbonato de calcio**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **MSc. Franklyn Elard Zapana Yucra** y **Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

AMPLIACION



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

RESOLUCIÓN N° 1235-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña, 17 de diciembre de 2024

VISTO:

El expediente de **Jimy Cristian Parizaca Condori** identificado(a) con Código Universitario N° **201612434** y **Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru** identificado(a) con Código Universitario N° **201421126** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la ampliación de la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Que **Jimy Cristian Parizaca Condori** y **Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru** han solicitado la inscripción del perfil de proyecto de tesis, **“Tratamiento de desechos líquidos radio gráficicos mediante el uso de carbonato de calcio.”** y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 17 de diciembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Ampliar por un período de 6 meses para terminar el proceso del perfil del proyecto de tesis en formato artículo asesorado por el (la) **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera**, presentado por **Jimy Cristian Parizaca Condori** y **Jhonatan Mario Uribe Tupac Amaru**.
2. Dejar constancia que el plazo correspondiente a la asesoría comprende de **06 meses (06 meses)** meses a partir de la comunicación respectiva.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

Cc: Interesado
Archivo



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

2 **A partir de esta página debe continuar el trabajo final (SUSTENTADO) según la estructura designada en el Reglamento de Investigación Artículo 64°. Página 18: <https://drive.google.com/file/d/1 IR8G2xOKhcG-2YVMyc1XXEeJ99GQQ2s/view>**

Artículo 64°. **Estructura de la tesis en formato artículo.** El documento, previo visto bueno del asesor, a presentar a través de la plataforma tecnológica oficial para cerrar el proceso de tesis debe tener la siguiente estructura:

- 64.1. Las hojas preliminares, según los requisitos del CRAI
- 64.2. El acta de sustentación
- 64.3. Agradecimientos y dedicatoria (opcional)
- 64.4. Índice
- 64.5. La versión final del artículo, con todas las observaciones levantadas (la estructura dependerá de la revista elegida.) Generalmente la estructura incluye:
 - 64.5.1. Título en español y en inglés
 - 64.5.2. Resumen en español y en inglés
 - 64.5.3. Palabras clave en español y en inglés
 - 64.5.4. Introducción
 - 64.5.5. Metodología
 - 64.5.6. Resultados
 - 64.5.7. Discusión
 - 64.5.8. Referencias bibliográficas
 - 64.5.9. Figuras y tablas
- 64.6. Anexos
 - 64.6.1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio
 - 64.6.2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente
 - 64.6.3. Carta de aprobación de comité de ética, si fuera el caso
 - 64.6.4. Instrumento(s) de recolección de datos, si fuera el caso
 - 64.6.5. Figuras, tablas o imágenes adicionales, si fuera el caso