

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA DOLOMITA EN LA REDUCCION
DE LA TOXICIDAD DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS MUNICIPALES
DETERMINADA POR EL INDICE DE GERMINACION Y
ELONGACIÓN RADICULAR DE *Raphanus
sativus L.***

Tesis

para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

GOMEZ MORA MIGUEL ANTONIO

Asesor

Ing. M.Sc. PAREDES SALAZAR JOSÉ LUIS

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 094-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 09 de Agosto de 2024, a horas 5:10 p.m. en la sala de grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA DOLOMITA EN LA REDUCCION
DE LA TOXICIDAD DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS MUNICIPALES
DETERMINADA POR EL INDICE DE GERMINACION Y ELONGACIÓN
RADICULAR DE *Raphanus sativus* L. ”**

Presentado por el Bachiller: **GOMEZ MORA, MIGUEL ANTONIO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

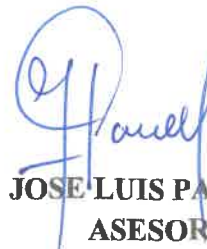
En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 09 de septiembre de 2024


Ing. MSc. SANDRA L. ZAVALA GUERRERO
PRESIDENTA


Mcblgo. MSc. LUIS A. SANCHEZ ROMERO
MIEMBRO


Blgo. MSc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA
MIEMBRO


Ing. MSc. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 313 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA DOLOMITA EN LA REDUCCION DE LA TOXICIDAD DE UN LIXIVIADO DE RESIDUOS MUNICIPALES DETERMINADA POR EL INDICE DE GERMINACION Y ELONGACIÓN RADICULAR DE <i>Raphanus sativus</i> L.	GOMEZ MORA MIGUEL ANTONIO	23 % Veintitrés

Tingo María, 04 de noviembre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA**

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables.
Título de tesis	: Efecto de la Aplicación de la Dolomita en la Reducción de la Toxicidad de un Lixiviado de Residuos Municipales Determinada por el Índice de Germinación y Elongación Radicular De <i>Raphanus sativus L.</i>
Autor	: Miguel Antonio Gomez Mora.
Asesor de tesis	: José Luis Paredes Salazar.
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental.
Programa de investigación	: Ciencias Basicas.
Línea(s) de investigación	: Física y química de los Suelos
Eje Temático	: Prácticas y uso de manejo que mejoren la calidad del suelo
Lugar de ejecución	: Tingo María.
Duración	: Inicio : Mayo 2023 Término : Mayo 2024
Financiamiento	: FEDU : S/0.00 Propio : S/3,500.00 Otros : S/.0.00

Tingo María, Perú, Octubre 2024.

Miguel Antonio Gomez Mora

Tesista

Jose Luis Paredes Salazar .

Asesor

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a Dios por darme la vida, la sabiduría, a mis padres Miguel Gomez y Fidelia Mora quienes fueron mi guía en cada paso que he dado por ser mis pilares fundamentales en el desarrollo de mi vida, aconsejándome, guiándome, brindando la confianza y siempre brindando su apoyo incondicional los cuales me han dado la fuerza para continuar y poder cumplir mis metas.

A mis familiares y amigos y a todas las personas que no menciono aquí pero que siempre estuvieron presente brindándome su apoyo, compartiendo buenos y malos momentos y que siempre serán recordado de la mejor manera.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales y la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental por darme la oportunidad de ser profesional.

- A mi asesor M. Sc. Paredes Salazar José Luis, por toda su experiencia y conocimientos compartidos.
- Al Instituto Superior Tecnológico Alto Huallaga Tocache, por brindarme un espacio en su laboratorio para poder realizar la ejecución de este trabajo.
- A mis amigos, Marloy Mercedes, Kevin Vargas, y demás colegas por su apoyo, compañía y amistad.
-

Gracias a todas las personas que aportaron directa e indirectamente en el desarrollo de la presente investigación.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Los Lixiviados.....	4
2.3. Toxicidad de los lixiviados.....	5
2.4. La dolomita	6
2.5. Índice de germinación y elongación radicular	8
III. MATERIALES Y METODOS	10
3.1. Lugar de ejecución	10
3.1.1. Características climáticas	10
3.2. Materiales y Equipos.....	11
3.3. Metodología	11
3.3.1. Determinación del efecto del porcentaje en peso de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	11
A. Obtención del lixiviado	11
B. Preparación y aplicación de la dolomita	11
C. Determinación de la toxicidad del lixiviado	11
3.3.2. Determinación del efecto del tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	12
3.3.3. Determinación del efecto del porcentaje en peso y tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	12

3.4.	Criterios de estudio.....	13
3.4.1.	Nivel de investigación.....	13
3.4.2.	Tipo de investigación.....	13
3.4.3.	Método de investigación.....	13
3.4.4.	Diseño de investigación.....	13
3.4.5.	Variables de investigación.....	13
3.4.6.	Análisis estadístico.....	14
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	15
4.1.	Determinación del efecto del porcentaje en peso de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	15
4.2.	Determinación del efecto del tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	19
4.3.	Determinación del efecto del porcentaje en peso y tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de <i>Raphanus sativus</i>	21
V.	CONCLUSIONES.....	24
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	25
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	26
VIII.	ANEXOS	29
8.1.	Resultados de los datos experimentales.....	29
8.2.	Análisis estadístico de los resultados de la investigación	38
8.3.	Imágenes de la investigación.....	39

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición de la dolomita	7
2. Niveles de las variables de la investigación	14
3. Matriz de diseño tipo factorial completo 3 ²	14
4. Caracterización fisicoquímica básica del lixiviado utilizado en la investigación	15
5. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de <i>Raphanus sativus</i> en un tiempo de 120 horas.....	16
6. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de <i>Raphanus sativus</i> a diferentes tiempos de contacto	19
7. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de <i>Raphanus sativus</i> a diferentes porcentajes de dolomita y diferentes tiempos de contacto	21
8. Medición de parámetros para la caracterización fisicoquímica del lixiviado.....	29
9. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con tres porcentajes de dolomita en 120 horas	30
10. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con tres porcentajes de dolomita en 120 horas	30
11. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con un porcentaje de dolomita a tres tiempos diferentes.....	32
12. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con un porcentaje de dolomita en tres tiempos diferentes.....	33
13. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con tres porcentajes de dolomita a tres tiempos diferentes	34
14. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con tres porcentajes de dolomita en tres tiempos diferentes.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Apariencia de los lixiviados (Grupo Vento, 2018).....	6
2. La dolomita (QuimiNet, 2012).....	7
3. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.....	10
4. Efecto del porcentaje de dolomita aplicado al lixiviado sobre el índice de germinación y elongación radicular de semillas de <i>Raphanus sativus</i> en un tiempo de 120 horas.....	18
5. Efecto del tiempo de contacto de dolomita con el lixiviado en la toxicidad medido con el índice de germinación y elongación radicular de semillas de <i>Raphanus sativus</i>	20
6. Efecto del porcentaje de dolomita y tiempo de contacto en la toxicidad de un lixiviado medido con el índice de germinación y elongación radicular de semillas de <i>Raphanus sativus</i>	23
7. Trituración de la dolomita.....	39
8. Medición del volumen de agua para hidratación de la dolomita	39
9. Pesado de la dolomita.....	40
10. Proceso de hidratación de la dolomita.....	40
11. Pesado de la dolomita hidratada.....	41
12. Recolección de lixiviado	41
13. Imagen del sitio de recolección de lixiviado	42
14. Toma de muestras de lixiviado.....	42
15. Tratamiento de lixiviado con aplicación de dolomita	43
16. Filtración del lixiviado tratado con dolomita	43
17. Preparación de las semillas de <i>Raphanus sativus</i>	44
18. Aplicación de lixiviado a las semillas de <i>Raphanus sativus</i> L	44
19. Muestras de semillas de rabanito en periodo de evaluación.....	45
20. Semillas de <i>Raphanus sativus</i> en germinación	45
21. Visualización de la germinación de las semillas germinadas	46
22 Medición del crecimiento de las semillas germinadas.....	46

RESUMEN

En esta investigación, se evaluó el efecto de la dolomita en la toxicidad de un lixiviado mediante el índice de germinación y elongación de la raíz de semillas de *Raphanus sativus* L. Para iniciar se colectó y caracterizó el lixiviado de la celda transitoria de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, donde se obtuvo un lixiviado con pH de 6.8 y una conductividad de 30.1 mS/cm. Posteriormente se acondicionó la dolomita, triturándola e hidratándola con agua destilada por 48 horas antes de su uso. Los tratamientos aplicados fueron la adición de dolomita al 5%, 10% y 20% en peso a 1000 mL de lixiviado y se probó el efecto en un tiempo de contacto de 120 horas. Seguidamente se experimentó con la adición de 20% en peso de dolomita a 500 mL de lixiviado en tres tiempos diferentes 24 horas, 48 horas y 72 horas, por ultimo se aplicaron los tratamientos con los tres tiempos de contacto y tres porcentajes en peso de dolomita. Los indicadores para medir el efecto de la dolomita en la toxicidad del lixiviado fueron el porcentaje de índice de germinación y la elongación de la raíz de las semillas de rabanito. Como resultado se tuvo como valores máximos de 84.03 y -0.25 de índice de germinación y elongación de la raíz respectivamente con la aplicación de 20% de dolomita al lixiviado en 120 horas, por otro lado se pudo comprobar que el tiempo de contacto de la dolomita con el lixiviado influye en la toxicidad ya que la germinación y la elongación de raíz, fueron diferentes en 24 horas, 48 horas y 72 horas, alcanzado con este último 20.68 de índice de germinación y -0.75 de elongación de raíz. Finalmente en los tratamientos aplicados con tres tiempos diferentes y tres porcentajes en peso de dolomita al lixiviado, resultó que el mayor índice de germinación y elongación de raíz fue con la aplicación de 10% en peso de dolomita en 72 horas, con valores de 16.89 y -0.82 respectivamente. El análisis estadístico demuestra que el índice de germinación obtenido en los tres tiempos difiere significativamente, sin embargo para los tres porcentajes en peso de dolomita entre el 10% y el 20% en peso de dolomita aplicada no existe diferencia significativa. Para el caso de la elongación de la raíz, esta si difiere significativamente en los tres tiempos y en los tres porcentajes en peso de dolomita.

Palabras clave: Lixiviado, dolomita, toxicidad, *Raphanus sativus*, índice de germinación, elongación de raíz

ABSTRACT

Effect of dolomite application on the toxicity of a leachate determined by the germination and radicular elongation index of *Raphanus sativus* L.

In this research, the effect of dolomite on the toxicity of a leachate was evaluated through the germination and root elongation index of *Raphanus sativus* seeds. To begin, the leachate from the transient cell of the Provincial Municipality of Leoncio Prado was collected and characterized, where a leachate with a pH of 6.8 and a conductivity of 30.1 mS/cm was obtained. The dolomite was subsequently conditioned, crushing it and hydrating it with distilled water for 48 hours before use. The treatments applied were the addition of dolomite at 5%, 10% and 20% by weight to 1000 mL of leachate and the effect was tested at a contact time of 120 hours. Next, the experiment was carried out with the addition of 20% by weight of dolomite to 500 mL of leachate at three different times: 24 hours, 48 hours and 72 hours. Finally, the treatments were applied with the three contact times and three percentages by weight of dolomite. The indicators to measure the effect of dolomite on the toxicity of the leachate were the percentage of germination index and root elongation of radish seeds. As a result, maximum values of 84.03 and -0.25 for the germination index and root elongation respectively were obtained with the application of 20% dolomite to the leachate in 120 hours. On the other hand, it was possible to verify that the contact time of the dolomite with the leachate it influences the toxicity since germination and root elongation were different in 24 hours, 48 hours and 72 hours, with the latter reaching 20.68 germination index and -0.75 root elongation. Finally, in the treatments applied with three different times and three weight percentages of dolomite to the leachate, it turned out that the highest index of germination and root elongation was with the application of 10% by weight of dolomite in 72 hours, with values of 16.89 and -0.82 respectively. The statistical analysis shows that the germination index obtained at the three times differs significantly, however for the three percentages by weight of dolomite between 10% and 20% by weight of applied dolomite there is no significant difference. In the case of root elongation, this does differ significantly in the three times and in the three weight percentages of dolomite.

Keywords: Leachate, dolomite, toxicity, *Raphanus sativus*, germination index, root elongation

I. INTRODUCCION

A lo largo de los años, la sociedad ha ido experimentando una gran multitud de cambios, produciéndose, sobre todo en las últimas décadas, un gran desarrollo científico y tecnológico. Además, la población mundial es cada vez más extensa y la mayoría de países tienen una tendencia creciente en términos económicos. Con todo ello, cada vez son más los residuos generados en todas partes del mundo. Así, existe una clara relación entre los residuos generados por un país determinado y su PIB. La sociedad debe hacer frente al gran problema que supone la gestión de estos, entre ellos los residuos orgánicos o biorresiduos.

La disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) en rellenos sanitarios sigue siendo ampliamente aceptada y utilizada por sus ventajas económicas; sin embargo, esta forma de disposición genera gases efecto invernadero y efluentes líquidos denominados lixiviados, que se caracterizan por ser mezclas complejas con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos y ocasionalmente metales pesados, siendo necesaria su caracterización para determinar estrategias de tratamiento que contrarresten los potenciales efectos tóxicos de estas sustancias.

Los compuestos que son fuentes de calcio como el óxido de calcio, el hidróxido de calcio, el carbonato de calcio, entre otras; cuando son hidrolizados, influyen en el pH del medio, aportan alcalinidad y reducen la presencia de sólidos y carga orgánica, estas propiedades permiten su aplicación en tratamientos primarios de las aguas residuales (Cordero, 1977; Lardé, 1995; Orozco, 1973 & Sevillano, 2017).

La dolomita es un carbonato de calcio y magnesio con composición química $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. La caliza que contiene dolomita es conocida como caliza dolomítica. La dolomita también se encuentra en cristales y en extensos lechos como una piedra caliza compacta. Es un mineral carbonato anhidro y es diferente de la piedra caliza, ya que también contiene magnesio. Es un tipo de roca sedimentaria rica en magnesio y es un buen agente neutralizante porque suministra elementos de calcio y magnesio. Las características de la dolomita incluyen roca huésped para el plomo, trampas para fluidos subsuperficiales tales como depósitos de petróleo, gas natural, zinc y cobre.

Las características de este mineral, entre las cuales se encuentra su porosidad, permite considerarla como una alternativa en el tratamiento de lixiviados, con relación a su efecto en el nivel de toxicidad de un lixiviado. La germinación de semillas y la prueba de la elongación

radicular son de los indicadores más simples del biomonitoreo ambiental (Wang *et al.* 2001, Mahmood *et al.* 2005, Di Salvatore *et al.* 2008, Ling *et al.* 2010). El empleo de parámetros como las pruebas de germinación y evaluación del crecimiento de las plantas, en especies sensibles a la presencia de elementos tóxicos, han mostrado los resultados más adecuados para la evaluación del efecto fitotóxico de un compuesto (Urriola *et al.*, 2022).

El estudio que se plantea en este proyecto se enfoca en evaluar como la dolomita podría influir sobre la toxicidad de un lixiviado, condición que se será evaluada mediante el índice de germinación de semillas de *Raphanus sativus*. (Rábano). Por tal razón se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto de la aplicación de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*?, planteándose la siguiente hipótesis: La aplicación de dolomita reduce más del 50% la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales, determinado por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus* L.

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto del porcentaje en peso de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus* L.

Determinar el efecto del tiempo de contacto de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus* L.

Determinar el efecto del porcentaje en peso y tiempo de contacto de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus* L.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Bennet et al. (2000), realizaron un estudio utilizando varios enfoques para examinar si el agregado que contiene calcio, como la dolomita, es un material de drenaje adecuado para los sistemas de recolección de lixiviados en vertederos. La estabilidad termodinámica de los materiales de drenaje de carbonato se evaluó utilizando datos de lixiviados publicados de vertederos en el Reino Unido y muestras de lixiviados de cuatro grandes vertederos de edad variable en el sur de Ontario. Se han utilizado técnicas de microhaz de electrones para verificar la disolución en piedra dolomítica exhumada de la capa de drenaje del sistema de recolección de lixiviados del relleno sanitario de Keele Valley y de experimentos que simulaban las condiciones del relleno sanitario. Los datos sugieren que la disolución de la piedra de drenaje dolomítica no es significativa y contribuye poco a la obstrucción de los sistemas de recolección de lixiviados de los vertederos. Sin embargo, la cristalización de la calcita secundaria ocurre alrededor de las piedras dolomíticas y cantidades considerables de finos inorgánicos, incluida la dolomita, estaban presentes en algunas muestras de "material de obstrucción" exhumadas del sistema de recolección de Keele Valley.

Quanzhi et al. (2019), desarrollaron una investigación, en la cual se usaron dos tipos de dolomitas calcinadas hidroxiladas (HCD60 y HCD100) como aditivos y se compararon con la cal en la lixiviabilidad de las especies aniónicas de las cenizas volantes. Ambos aditivos resultaron efectivos para reducir las concentraciones de lixiviación de estos elementos, lo que fue mejor que la adición de cal sola. Se creía que $Mg(OH)_2$ y MgO desempeñaban papeles importantes en la reacción de hidratación de las cenizas volantes por la formación de productos de hidratación, incluidos hidrato de silicato de calcio, etringita, hidrocalumita y otros hidróxidos dobles en capas (LDH), que eran candidatos eficaces para la eliminación de aniones. Por lo tanto, los resultados finales de la lixiviación fueron controlados por adsorción, incorporación o encapsulación. Por otro lado, en comparación con el $Mg(OH)_2$, el MgO puede promover la formación de productos de hidratación en mayor medida debido al proceso de hidratación del MgO en $Mg(OH)_2$. No hubo una tendencia sistemática en la promoción de la hidratación de las cenizas volantes por $Mg(OH)_2$ o MgO y las dolomitas calcinadas hidroxiladas pueden ser aditivos candidatos prometedores para la reducción de elementos tóxicos que se filtran de las cenizas volantes.

Gruszecka-Kosowska et al. (2017), experimentaron con la sorción de Cd, Zn y Pb (II) iones de soluciones acuosas utilizando polvo de dolomita residual. El polvo de dolomita de

desecho es inconveniente durante el almacenamiento debido al tamaño fino de las partículas; por lo tanto, se necesita una aplicación práctica. Los experimentos de sorción se realizaron con las variables: concentración inicial de metales (500, 1000 y 2000 mg/dm³) en soluciones de uno y varios elementos, dosis de adsorbente (0,5, 1 y 2 g) y tiempo de contacto (45, 90 y 180 min). Los resultados mostraron que el polvo de dolomita eliminó todos los iones del experimento soluciones Para la solución de elementos múltiples, se adsorbió Pb (II) casi al 100% a la concentración inicial igual a 2000mg/dm³. Para Cd y Zn, propiedades de sorción disminuyó con el aumento en el metal inicial

Hoss et al. (2022) realizaron un estudio para determinar la eficiencia de reactores biológicos rotativos a escala piloto en la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, y fósforo de los lixiviados del vertedero y toxicidad de efluentes. La capacidad de los reactores biológicos para eliminar esta toxicidad se calculó con el índice de germinación de la lechuga (*Lactuca sativa*) y semillas de pepino (*Cucumis sativus*). El reactor mostró un promedio eficiencia del 75,99% de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, 33,53% de remoción de demanda química de oxígeno, y 16.04% de remoción de fósforo. De hecho, las semillas de pepino y lechuga resultaron sensibles a la toxicidad del efluente para el lixiviado crudo, los valores del índice de germinación de la lechuga y pepino fueron 13.28 y 49.61%, respectivamente. Los reactores biológicos obtuvieron una buena eficiencia en la eliminación de la toxicidad del lixiviado. El índice de germinación de las semillas para el efluente tratado fue 60.9% para lechuga y 82.49% para pepino.

2.2. Los Lixiviados

Los lixiviados son un subproducto derivado de los residuos sólidos urbanos debido a sus cambios físicos, químicos y biológicos y se formarán en vertederos, plantas de incineración, plantas de compostaje y estaciones de transferencia, con alta fuerza y toxicidad. El control de la contaminación por lixiviados es una preocupación mundial y sigue siendo un gran desafío en la reducción de fuentes y la eliminación de contaminantes. El lixiviado debe ser tratado adecuadamente antes de ser descargado a las fuentes receptoras o reciclado mediante procesos integrados de tratamiento de lixiviados (Hans-Jürgen y Stegmann, 2018).

La calidad de los lixiviados es el resultado de la composición de los desechos, el balance de agua y las condiciones biológicas, químicas y físicas en el cuerpo del vertedero. Hasta ahora no es posible predecir la composición de los lixiviados de un nuevo vertedero y es muy difícil describir la futura contaminación por lixiviados de un vertedero existente. Como consecuencia del alto contenido de residuos orgánicos, se desarrollan

procesos biológicos anaerobios descontrolados durante los primeros hasta 10 años de funcionamiento del vertedero, que, con la influencia de procesos químicos/físicos, determinan la calidad del lixiviado, en particular el contenido de carbono orgánico del lixiviado. Además, estos procesos influyen en el pH y la movilidad de una variedad de otros compuestos como hierro, calcio, etc. La reducción del período de la fase anaeróbica en un vertedero da como resultado una reducción significativa de la contaminación por lixiviados. Después del final de la operación del vertedero, la contaminación por lixiviados permanecerá en niveles altos durante un período de tiempo muy largo (décadas y más) con solo una disminución lenta. Se presenta una gran variedad de ejemplos de datos de calidad de lixiviados de diferentes tipos de vertederos de todo el mundo (Hans-Jürgen y Stegmann, 2018).

2.3. Toxicidad de los lixiviados

Los lixiviados de vertederos constituyen un aspecto importante de la contaminación ambiental debido a su capacidad de penetración en las aguas subterráneas, migración a distancias considerables y acumulación en varios eslabones de la cadena alimentaria, por lo tanto, representa una amenaza para el ecosistema y el público salud. Sin embargo, un vertedero libera una amplia gama de productos químicos resultantes de la degradación de residuos no únicamente en forma de lixiviado. También puede liberar contaminantes peligrosos en forma de gases y sólidos partículas, especialmente si se trata de un vertedero activo. Gases y partículas en el aire sobre un vertedero pueden entrar en las vías respiratorias de las personas en las inmediaciones del vertedero o aquellos que trabajan en sus instalaciones. Un riesgo para la salud puede incluso ocurrir después de una exposición accidental en un vertedero no controlado. Otra posibilidad para el ser humano exposición a los lixiviados es su migración a través de agua subterránea a cuerpos de agua tales como estanques y lagos utilizados con fines recreativos (Khalil et al. 2018).

El lixiviado es un líquido oscuro, con desagradable olor; es altamente tóxico y debe manejarse adecuadamente antes de su liberación en cuerpos receptores. Los tratamientos convencionales más comunes para este tipo de efluente son biológicos aeróbicos y anaeróbicos tratamientos. Sin embargo, este tipo de tratamiento a menudo presenta baja eficiencia en el caso de lixiviados procedentes de antiguos vertederos, debido a la reducción de la fracción biodegradable, por la presencia de compuestos de alto peso molecular, además de altas concentraciones de nitrógeno amoniacal y otros altamente compuestos tóxicos, que inhiben el tratamiento biológico proceso y reducir la tratabilidad de lixiviados por procesos

convencionales. Tradicionalmente, la evaluación de peligros de los lixiviados de vertederos se basa en las evaluaciones de los productos químicos individuales identificados mediante análisis químico. Sin embargo, los datos químicos por sí solos no permiten la evaluación de efectos tóxicos. Los bioensayos de toxicidad, a diferencia de los análisis fisicoquímicos, integran los efectos biológicos de todos los compuestos presentes y otros factores, como la biodisponibilidad y las sustancias tóxicas interacciones. Algunos estudios muestran que los lixiviados pueden causar efectos nocivos en organismos en varios niveles tróficos. Entre las diversas pruebas de toxicidad disponibles, se pueden mencionar a la germinación de semillas y el alargamiento de raíces que es ampliamente utilizado, porque es una prueba de fitotoxicidad rápida y precisa, mostrando sensibilidad, simplicidad, bajo costo e idoneidad para productos químicos inestables o muestras. Diferentes especies modelo son utilizados en bioensayos (Klauck et al.,2015).



Figura 1. Apariencia de los lixiviados (Grupo Vento, 2018)

2.4. La dolomita

La dolomita es un mineral bastante común en las rocas sedimentarias continentales y marinas, se puede encontrar en capas de varios cientos de metros y es uno de los minerales más difundidos en las rocas sedimentarias carbonatadas; se forma por la acción del agua rica en magnesio, sobre depósitos calcáreos, en donde se produce una progresiva substitución del calcio por el magnesio; a este proceso se le denomina Dolomitización y es un caso concreto de los procesos de substitución en general o metasomatismo (substitución de una sustancia por otra), también se forma por actividad hidrotermal. (Biswas & Davenport, 2015).

La dolomita es un mineral no metálico de carbonato doble de Calcio y Magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), su naturaleza alcalina le confiere la propiedad para neutralizar la acidez que generan los metales pesados, además de reducir la concentración inicial de los mismos. Otra

propiedad importante es que permite reducir otras sustancias contaminantes como arseniatos, antimoniatos, sólidos en suspensión y otros (O'Driscoll, 2008).

La dolomita, carbonato doble de calcio y magnesio, es un componente en vez de una mezcla de calcita y magnesita. La dolomita tiene una fórmula química de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, con un peso molecular de 184.4 y una gravedad específica de 2.84 g/cm^3 . Teóricamente, la dolomita pura contiene 45.7% de MgCO_3 y 54.3% CaCO_3 . Su dureza es 3.5-4 en la escala de Mohs y su sistema cristalino es romboédrico. La caliza dolomítica tiene 30.4% CaO, 21.8% MgO, y 47.8% CO_2 . Las impurezas tales como: sílice (SiO_2), arcillas, esquisto, feldespato, otros, son usualmente asociados con la caliza dolomítica (O'Driscoll, 2008).

Tabla 1. Composición de la dolomita.

Tipo	Descripción
Fórmula química	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Clase	Carbonatos
Sistema cristalográfico	Trigonal
Hábito	Romboédrico o espático y normalmente masivo o sacaroideo
Color	Incoloro, blanco, amarillento, grisáceo o pardo por impurezas
Color de la raya	Blanco
Brillo	Nacarado, vítreo o mate
Dureza	3.5 – 4 (Mohs)
Exfoliación	Romboédrica perfecta
Otras	Presenta efervescencia con HCl concentrado en caliente, pero no en frío.

Fuente: (Biswas & Davenport, 2015).



Figura 2. La dolomita (QuimiNet, 2012)

2.5. Índice de germinación y elongación radicular

El término germinación en las semillas de plantas grandes (angiospermas) se refiere a la protuberancia de una raíz o retoño de la cubierta de la semilla, mientras la emergencia es la penetración visible del brote sobre la superficie del suelo. Para que una semilla pueda germinar, ésta debe colocarse en condiciones ambientales favorables a este proceso. Entre las condiciones requeridas está un suministro adecuado de agua, un rango de temperatura adecuado y, para algunas semillas, luz. El resultado se mide en cuanto al grado de germinación de las semillas (el porcentaje de germinación final alcanzado) y la velocidad con la que ha finalizado el proceso de germinación. Sin embargo, frecuentemente otros parámetros representan factores significativos desde perspectivas agronómicas, de planificación o fisiológicas (Kader, 2005)

El tiempo transcurrido entre la primera semilla a germinar y el último, la variación en la velocidad de germinación y el momento en que la mayoría de las semillas germinan tienen un impacto en diversas operaciones culturales como la fertilización, la cosecha y la madurez de campo de los cultivos. Los eventos de germinación también son indicadores importantes del vigor de la semilla y la resistencia al estrés y pueden ser 'alta' (el momento en que la mayoría de las semillas germinan) y 'baja' (el momento en que la minoría de las semillas germinan). Estos datos, de un punto de vista experimental, también tienen un impacto significativo en los análisis estadísticos (Kader, 2005).

En el índice de germinación GI, el peso máximo es dado a las semillas germinadas en el primer día y menos peso a las semillas germinadas después. De esta manera el más bajo el peso sería para las semillas germinadas el día 10. Por lo tanto, el GI enfatiza tanto el porcentaje de germinación y su velocidad. A un valor de GI más alto denota un mayor porcentaje y tasa de germinación. Para calcular el índice de germinación se utiliza la siguiente fórmula:

$$GI = (10 \times n_1) + (9 \times n_2) + \dots + (1 \times n_{10})$$

Donde $n_1, n_2, \dots, n_{10}$ representan el N° de semillas germinadas en el primero, segundo y días posteriores hasta el décimo día; 10, 9, ..., y 1 son pesos dados al número de germinadas semillas en el primero, segundo y días posteriores, respectivamente (Bench et al., 1991).

El alargamiento de la raíz es el resultado del agrandamiento de nuevas células que se forman constantemente por divisiones celulares en la región general del meristema apical. La posterior diferenciación de estos componentes celulares de la raíz da lugar a los complejos sistemas tisulares que comprenden la estructura madura (Torrey, 1976)

El término elongación se utiliza para cualquier agrandamiento permanente de células ya formadas por diferenciación. Como el tamaño de una célula vegetal está determinado por la extensión de la superficie de su pared, el alargamiento celular también puede definirse como cualquier aumento permanente en la superficie de la pared celular (Torrey, 1976).

La elongación radicular (IER), se calcula mediante la fórmula:

$$\text{IER} = (\text{Elong}_x - \text{Elong}_{\text{Testigo}}) / \text{Elong}_{\text{Testigo}}$$

Donde Elong_x es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en cada sitio de estudio y cada dilución, y $\text{Elong}_{\text{Testigo}}$ es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en el testigo.

Ambos índices IGN e IER establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes categorías: índice de 0 a -0.25 baja toxicidad, de -0.25 a -0.5 toxicidad moderada, de -0.5 a -0.75 muy tóxico y de -0.75 a -1.0 , toxicidad muy alta; valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula u hormesis (Bagur-González et al. 2011).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en los laboratorios del Instituto Superior Tecnológico Alto Huallaga Tocache, ubicado en las coordenadas UTM: 390256 Este y 8970849 Norte a una altitud de 662 m.s.n.m en la ciudad de Tocache.

Geográficamente la ciudad de Tingo María se encuentra en la hoja 19-k de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, correspondiente a la región Selva.

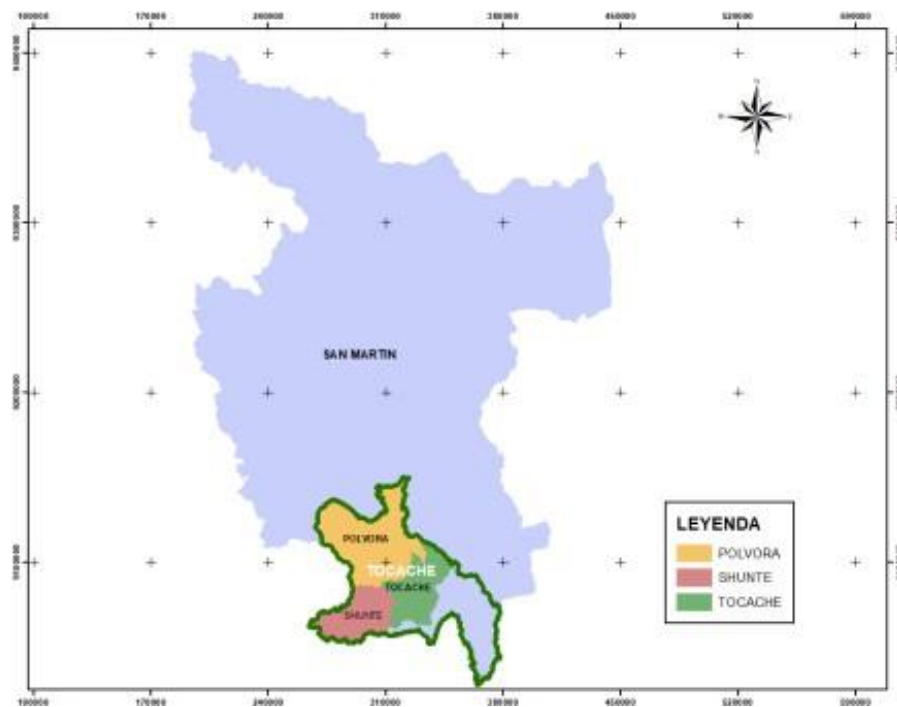


Figura 3. Ubicación geográfica del del Instituto Superior Tecnológico Alto Huallaga Tocache

3.1.1. Características climáticas

El área de estudio presenta una temperatura máxima media anual de 31,5 °C y una temperatura mínima media anual de 21,0 °C, siendo la temperatura media anual de 25,4 °C. La humedad relativa media anual es cercana al 85%. La precipitación media anual es de 3,755 milímetros (SENAMHI, 2004).

La velocidad promedio del viento por hora en Tingo María no varía considerablemente durante el año y permanece en un margen de más o menos 0,6 kilómetros por hora de 5,1 kilómetros por hora. La dirección del viento promedio por hora predominante

en Tingo María es del norte durante el año. El eje hidrográfico principal es el río Huallaga, el cual recibe numerosos afluentes, entre los cuales son el río Monzón y el río Tulumayo (SENAMHI, 2004)

3.2. Materiales y Equipos.

Materiales: vasos de precipitación, probetas, mortero, malla N° 10, varilla de vidrio, placas Petri, papel filtro, guantes látex, papel Parafilm.

Equipos: Balanza Analítica marca Ohaus con 0.001 g de precisión, Equipo multiparamétrico marca Hanna, Horno

Insumos: Agua destilada, Dolomita, Semilla de *Raphanus sativus* L.

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación del efecto del porcentaje en peso de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

A. Obtención del lixiviado

El lixiviado fue colectado del punto de la poza de lixiviados de las celdas transitorias de la Municipalidad de Leoncio Prado, el cual se caracterizó con los parámetros fisicoquímicos básicos, tales como pH, temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad, en el laboratorio de la carrera de farmacia Técnica del Instituto Superior Tecnológico Alto Huallaga Tocache, el transporte del lixiviado fueron en frascos de vidrio, las celdas transitorias tiene un cercado de todo el perímetro con Alucin y techado con calamina metálica roja (Alucin) y un cielorraso de malla raschel.

B. Preparación y aplicación de la dolomita

La dolomita obtenida en roca fue triturada en un mortero y tamizada en una malla N° 10 para obtener tamaño de partícula homogéneo y deseado. Seguidamente se activó la dolomita, sumergiendo en agua destilada por un tiempo de 48 horas. Luego en vasos de precipitación de 1000 mL, se colocaron el lixiviado y el 5%, 10% y 20% en peso de dolomita activada, después de 24 horas (Pesonen et al., 2019), se filtró el lixiviado para determinar su nivel de toxicidad

C. Determinación de la toxicidad del lixiviado

Se colocaron 20 semillas de *Raphanus sativus* L., en cajas Petri de 100 mm de diámetro sobre papel filtro de 90 mm de diámetro con nivel de poro equivalente al papel Whatman® No. 3. En cada caja de Petri se aplicaron 2 mL de agua de destilada y 1 ml de lixiviado filtrado de cada tratamiento. Todos los bioensayos se realizaron por triplicado. Se sellaron las placas Petri con papel Parafilm® para evitar la desecación y se mantendrán en

oscuridad para su crecimiento homogéneo de la semilla durante 120 h a 22 ± 2 °C. Las semillas germinadas en cajas de Petri con 2 mL de agua dura se considerarán como testigo. Transcurrido el tiempo de exposición se contabilizaron el número de semillas germinadas, considerando aquellas con una longitud radicular mayor a 1 mm. Para evaluar el crecimiento de las plántulas de *Raphanus sativus L* en cada uno de los tratamientos al final de la exposición se realizó la medición de la longitud del

epicotilo y de la radícula de las plántulas. Finalmente, para realizar las comparaciones adecuadas, los resultados obtenidos se expresaron como el porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) (Rodriguez et al., 2014).

$$\text{GRS}(\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de agua problema}}{\text{Número de semillas germinadas en agua dura (testigo)}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{CRR}(\%) = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de agua problema}}{\text{Longitud promedio de la radícula en agua dura (testigo)}} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{IG}(\%) = \text{GRS} \times \text{CRR} / 100 \dots \dots \dots (3)$$

Para determinar la elongación radicular (IER) se aplicará la siguiente fórmula:

$$\text{IER}(\%) = \frac{\text{Elong X} - \text{Elong Testigo}}{\text{Elong Testigo}} \dots \dots \dots (4)$$

Donde Elongx es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en cada sitio de estudio y cada dilución, y Elong Testigo es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en el testigo. Ambos índices IG e IER establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes categorías: índice de 0 a -0.25 baja toxicidad, de -0.25 a -0.5 toxicidad moderada, de -0.5 a -0.75 muy tóxico y de -0.75 a -1.0 , toxicidad muy alta; valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula u hormesis (Bagur-González et al. 2011).

3.3.2. Determinación del efecto del tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

La dolomita obtenida en roca fue triturada en un mortero y tamizada en una malla N° 10 para obtener tamaño de partícula homogéneo y deseado. Seguidamente se activó la dolomita, sumergiendo en agua destilada por un tiempo de 48 horas. Luego en vasos de precipitación de 1000 mL, se colocó el lixiviado con 20% en peso de dolomita activada y después de 24, 48 y 72 horas (Pesonen et al., 2019), se filtró el lixiviado de cada tratamiento para determinar su nivel de toxicidad. El nivel de toxicidad se determinó tal como se detalla en el punto C del ítem 3.3.1.

3.3.3. Determinación del efecto del porcentaje en peso y tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

La dolomita obtenida en roca fue triturada en un mortero y tamizada en una malla N° 10 para obtener tamaño de partícula homogéneo y deseado. Seguidamente se activó la dolomita, sumergiendo en agua destilada por un tiempo de 48 horas. Luego en vasos de precipitación de 1000 mL, se colocaron: el lixiviado con 5%, 10% y 20% en peso de dolomita activada y después de transcurrido los tiempos de contacto de 24, 48 y 72 horas para cada tratamiento (Pesonen et al., 2019), se filtró el lixiviado para determinar su nivel de toxicidad. El nivel de toxicidad se determinó tal como se detalla en el punto C del ítem 3.3.1

3.4. Criterios de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

La presente investigación presenta un nivel explicativo, debido a que utilizó la recolección de datos de las variables en estudio, para probar una hipótesis con base en la medición numérica (Hernández et al., 2010).

3.4.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicativo, Hernández et al. (2010) afirma que en este tipo de estudio busca la aplicación de los conocimientos adquiridos a la vez que se adquieren otros.

3.4.3. Método de investigación

El método de investigación fue inductivo y analítico, el primer método utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos, mientras que con el método analítico se estudiaron y conocieron los resultados obtenidos.

3.4.4. Diseño de investigación

Considerando la manipulación de las variables independientes, el diseño fue experimental y factorial (Hernández et al., 2014).

3.4.5. Variables de investigación

a) Variables independientes:

La aplicación de dolomita al lixiviado

Dimensiones e indicadores:

- El porcentaje en peso de la dolomita.
- El tiempo de contacto de la dolomita con el lixiviado.

b) Variable dependiente:

La toxicidad del lixiviado

Dimensiones e indicadores:

- El índice de germinación de *Raphanus sativus* L.

- La elongación radicular *Raphanus sativus* L.

Tabla 2. Niveles de las variables de la investigación

Variable de investigación	Factor A		Factor B	
	Peso de dolomita		Tiempo de contacto	
	Niveles		Niveles	
La aplicación de dolomita al lixiviado	5% en peso.		24 horas	
	10% en peso		48 horas	
	20% en peso		72 horas	

Tabla 3. Matriz de diseño tipo factorial completo 3^2

Nº experimental	Orden Aleatorio	Factor A	Factor B
		% peso de dolomita	Tiempo de contacto
1	1	-1	-1
2	8	0	-1
3	9	1	-1
4	3	-1	0
5	6	0	0
6	2	1	0
7	7	-1	1
8	5	0	1
9	4	1	1

Donde:

Para % peso de dolomita: 5% (-1), 10% (0), 20% (+1) y Tiempo de contacto: 24 horas (-1), 48 horas (0), 72 horas (+1).

3.4.6. Análisis estadístico

El diseño experimental es un diseño factorial 3^2 con tres repeticiones. Se utilizó el programa InfoStat para realizar un ANVA para evaluar la dispersión de los resultados y una prueba de Tukey para comparar la significancia de los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del efecto del porcentaje en peso de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica básica del lixiviado utilizado en la investigación

Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	28.2	°C
pH	6.83	
DQO	9545.33	mg/L
Sólidos Totales	15813.7	mg/L
Conductividad	30.1	mS/cm

En la Tabla 4, se observan algunas características del lixiviado con el que se trabajó en la investigación, su pH indica que es un lixiviado joven, con alta carga orgánica y elevada concentración de sólidos totales. Estas características podrían indicar el grado de contaminación del fluido, así como también la reactividad del mismo, por la presencia de diversos iones metálicos.

Torres- Gonzales et al. (2021) evaluaron los efectos genotóxicos y citotóxicos de un lixiviado en México, utilizando ratas Wistar expuestas a este lixiviado, estos autores mencionan que el lixiviado de vertedero es una mezcla compleja de moléculas orgánicas e inorgánicas, así como contaminantes ambientales que pueden causar daños a los ecosistemas y a los seres vivos. En el análisis del lixiviado encontraron metales pesados tales como arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo. La exposición al lixiviado del vertedero causó efectos genotóxicos y citotóxicos en las ratas Wistar,, llegando a la conclusión que estos metales pesados de forma individual o sinérgica con otras moléculas pueden ser responsables de efectos clastogénicos y citotóxicos que pueden ser perjudiciales para los humanos y ecosistemas.

Jie Liu et al. (2022), realizaron una investigación a fin de conocer la diferencia entre los compuestos orgánicos presentes en un lixiviado joven y un lixiviado maduro, estos autores mencionan que un lixiviado es un agua residual altamente contaminada, cuya composición esta en función al grado de humificación que atraviesa. Así llegaron a determinar que un lixiviado joven está compuesto por moléculas de cadena lineal y un lixiviado maduro, se

compone de moléculas con anillos bencénicos, ante tales resultados estos autores mencionan que en un lixiviado joven se produce reacciones de transformación de sustancias con moléculas lineales e insaturadas a sustancias bencénicas y con más grupos funcionales conteniendo oxígeno.

Tabla 5. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de *Raphanus sativus* en un tiempo de 120 horas.

Tiempo (horas)	Tratamiento	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
120	Lixiviado+5% Dolomita	91.16	9.17	8.36	-0.91
120	Lixiviado+10% Dolomita	95.06	12.94	12.30	-0.87
120	Lixiviado+20% Dolomita	126.13	75.41	84.03	-0.25

En la Tabla 5, se puede observar que cuanto mayor es el porcentaje de dolomita utilizado en contacto con el lixiviado, mayor es el índice de germinación 84.03 y la elongación radicular -0.25, que indica una baja toxicidad cuando el lixiviado es tratado con 20 % en peso de dolomita. Estos resultados evidencian un efecto favorable de la dolomita en la disminución de la toxicidad de un lixiviado, que podría deberse principalmente a dos aspectos, el primero al efecto de la regulación del pH del lixiviado debido al aporte de iones carbonato, que reaccionan con las especies catiónicas presentes de naturaleza tóxica presentes en el lixiviado. Un segundo aspecto puede ser el comportamiento adsorbente que podría desarrollar la dolomita al ser acondicionada con una hidratación previa antes de su uso, esta etapa se encarga de activar la dolomita, generando de esta manera una mayor área superficial que repercute en la disminución de la toxicidad por adsorción de sustancias tóxicas del tipo orgánico e inorgánico.

En los resultados se puede observar que la diferencia de toxicidad indicada por la elongación radicular entre el lixiviado con dolomita al 5% y dolomita al 10% es menor comparada con la diferencia entre el lixiviado con dolomita al 10% y dolomita al 20%, lo cual hace suponer que podría producirse una solubilidad de la dolomita en el lixiviado, coadyuvada por la concentración.

Sobik-Szołtysek (2021), realizó una investigación para conocer la degradabilidad de los residuos de dolomita provenientes de la post-flotación, con el fin de utilizarlas en barreras de aislamiento, en su estudio, experimentó la durabilidad de la dolomita a distintos rangos de pH, llegando a determinar que en un medio ácido específicamente en valores de pH de 2 a 5 incrementa la degradabilidad de la dolomita. También mencionan que la hidrólisis de la dolomita alcaliniza el medio ya que se produce una lixiviación de iones, entre estos los iones carbonato y reaccionan con iones metálicos, formando precipitados insolubles. Este efecto mencionado respalda los resultados obtenidos en la presente investigación, debido a la aparición de iones carbonato que regulan el pH del lixiviado, resultado de su interacción con iones metálicos, así como también iones hidronio, presentes en el lixiviado, esto permite, reducir su toxicidad e incrementar el índice de germinación de semillas de rabanito.

Sočo et al.,2023 mencionan que la dolomita es un excelente absorbente, de bajo costo y amigable con el ambiente. Estos autores realizaron una investigación para conocer la capacidad de adsorción de cobre divalente en medio acuoso, utilizando la dolomita como adsorbente, como parte de sus resultados mencionan como factor importante en este sistema de adsorción el punto de carga cero (PZC),utilizado para describir las propiedades superficiales que presentan los adsorbentes sólidos en un medio acuoso, el cual se define como el valor de pH del medio en el cual las cargas eléctricas predominantes suman cero y depende de la naturaleza de la superficie del sólido. Las pruebas de adsorción las realizaron bajo dos condiciones de pH, en cual un valor era 7.09 y el otro 6.57. La conclusión obtenida fue que en el pH de 6.57, la adsorción de iones de cobre con dolomita es superior, esto debido a que en este valor de pH de la solución es superior al punto de carga cero, lo cual permite que la superficie de la dolomita esté cargada negativamente producto de la ionización de ácidos carboxílicos compuestos fenólicos e hidroxilos, que dejan una superficie con cargas negativas y reaccionan con los iones de cobre. Esta valiosa información se puede relacionar a los resultados obtenidos en la presente investigación ya que en un tiempo de 120 horas, se produjo una disminución de la toxicidad que permitió un considerable porcentaje del índice de germinación, evidenciando el potencial que posee la dolomita para adsorber las sustancias tóxicas que contiene, que si bien es cierto no fue objetivo de esta investigación realizar una caracterización del lixiviado, por información bibliográfica se sabe que los lixiviados poseen una alta concentración de metales pesados y otros contaminantes que pueden ser adsorbidos por la dolomita y a esto se le puede agregar la edad del lixiviado con el que se trabajó, que es un lixiviado joven con pH que por lo general es ácido.

Šourková et al. (2020), desarrollaron una investigación, para determinar la fitotoxicidad de un lixiviado de residuos sólidos urbanos y el efecto de uso de biocarbón, utilizando como indicador la germinación de semillas de *Sinapis alba* L. (mostaza), a fin de aprovechar el lixiviado en el humedecimiento de los vertederos. Las pruebas experimentales se realizaron diluyendo y aplicando el lixiviado al 5% y 25%, así también la aplicación de 5% de biocarbón al sustrato, lo cual produjo una germinación de semillas de 104% y 98% respectivamente. Esto demuestra que la aplicación del biocarbón afecta positivamente la germinación de semillas. Algo contrario ocurre con la aplicación de la dolomita en esta investigación cuando se aplicó en un 5% al lixiviado, se tuvo un mínimo porcentaje de germinación de semillas de rabanito, aunque son materiales diferentes y las condiciones experimentales también, ya que el biocarbón se aplicó en un suelo regado con lixiviados diluidos, por tanto la adición de biocarbón mejora la calidad de suelo, mientras la dolomita fue aplicada al lixiviado y ejerció una depuración mínima del mismo, basada posiblemente en la adsorción de contaminantes, que incrementó de manera directamente proporcional al incremento del porcentaje de dolomita.

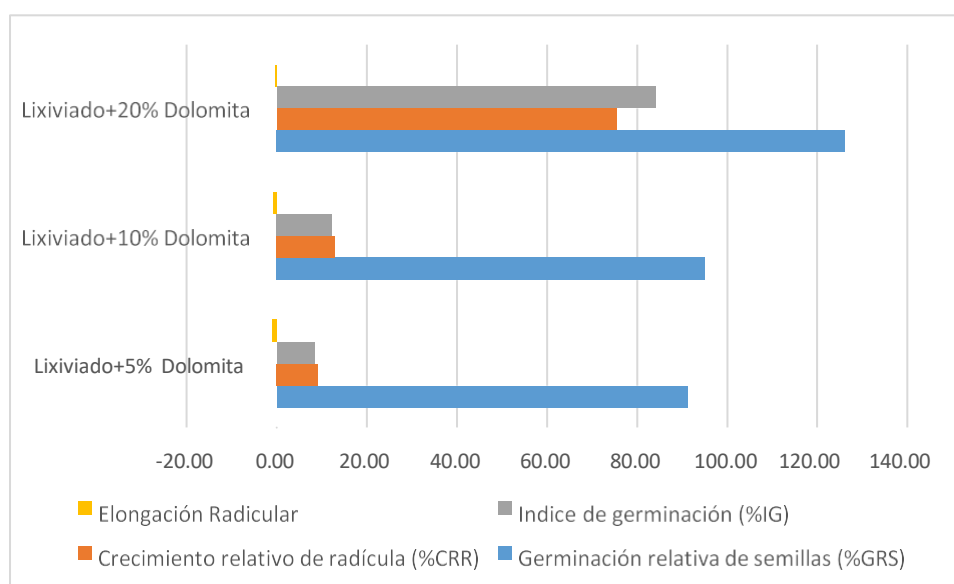


Figura 4. Efecto del porcentaje de dolomita aplicado al lixiviado sobre el índice de germinación y elongación radicular de semillas de *Raphanus sativus* en un tiempo de 120 horas

4.2. Determinación del efecto del tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

Tabla 6. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de *Raphanus sativus* a diferentes tiempos de contacto.

Tiempo (horas)	Tratamiento	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
24	Lixiviado+20% Dolomita	0	0	0	-1
48	Lixiviado+20% Dolomita	55.65	8.33	4.64	-0.92
72	Lixiviado+20% Dolomita	81.20	25.47	20.68	-0.75

En la Tabla 6, se observan los resultados del efecto del tiempo de contacto de la dolomita con el lixiviado, donde a mayor tiempo de contacto mayor es el índice de germinación y menor es la toxicidad que indica la elongación radicular, como se describió anteriormente se puede producir una solubilidad de la dolomita o una adsorción de compuestos tóxicos del lixiviado que a medida que transcurre el tiempo tiene mayor efecto, tal es así que a las 24 horas el índice de germinación es cero, debido a su alta toxicidad de lixiviado indicado por -1 de la elongación radicular, llegando al final de los tratamientos a una toxicidad moderada.

Bożym (2020), cuando desarrollo pruebas de toxicidad mediante germinación de semillas de *Lepidium sativum*, obtuvo un rango de germinación de 90% a 100% en 72 horas, llegando a concluir que estas semillas no son sensitivas a la fitotoxicidad de este tipo de lixiviado, así también indican que las semillas son responsables del aporte de nutrientes para su desarrollo. Un aspecto importante que mencionan son algunas características de pardeamiento de las semillas en comparación con el testigo, esto le atribuyen a la alta concentración de hierro en el lixiviado favorecido por el bajo pH del lixiviado. Este aporte mencionado permite deducir que el tipo de lixiviado, así como el tipo de semilla, podrían tener un comportamiento distinto, ya que las semillas de *Raphanus sativus*, en 72 horas alcanzaron un bajo porcentaje de germinación en el mismo tiempo, lo cual podría deberse a que la disposición de los nutrientes para la etapa inicial de germinación de semillas se ve

restringida por la relativa alta concentración de sustancias tóxicas aun presentes en el lixiviado de residuos sólidos urbanos, que no solo son de naturaleza inorgánica, si no también de naturaleza orgánica.

Ramires et al. (2019), realizaron pruebas de fitotoxicidad de residuos de matadero de cerdo en Brazil, utilizando las semillas de lechuga, rabanito y arroz, como parte de sus variables manipularon la forma de estabilización de los residuos de matadero, mediante el manejo de compostaje y lo probaron con los residuos sin estabilizar. Estos autores probaron la germinación de semilla en 7 días, donde las semillas de rabanito germinaron entre 100% y 88% en los residuos de matadero de cerdo sin compostar y en los residuos de cerdos compostados. Aunque los resultados para las semillas de lechuga y las semillas de arroz son diferentes, estos autores mencionan que es importante estabilizar los residuos de mataderos para disminuir su fitotoxicidad aunque finalmente, son residuos tóxicos, que afectan los procesos biológicos de la germinación, resaltando la influencia de la conductividad eléctrica y el rango acido de pH.

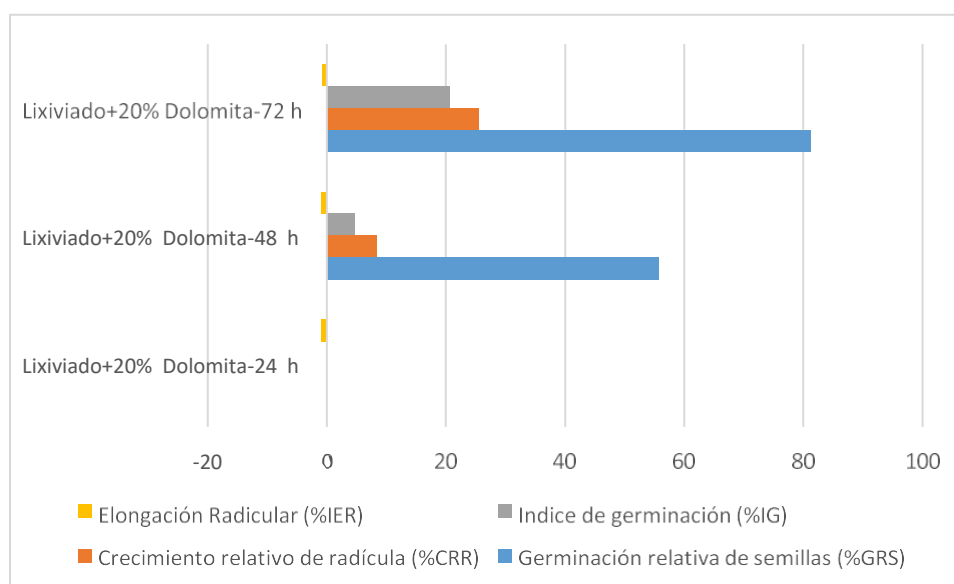


Figura 5. Efecto del tiempo de contacto de dolomita con el lixiviado en la toxicidad medido con el índice de germinación y elongación radicular de semillas de *Raphanus sativus*

4.3. Determinación del efecto del porcentaje en peso y tiempo de contacto de dolomita en la toxicidad de un lixiviado de residuos sólidos municipales, determinada por el índice de germinación y elongación radicular de *Raphanus sativus*.

Tabla 7. Toxicidad del lixiviado de residuos sólidos municipales tratado con dolomita medido con el Índice de germinación y Elongación radicular de las semillas de *Raphanus sativus* a diferentes porcentajes de dolomita y diferentes tiempos de contacto.

Tiempo (horas)	Tratamiento	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
24	Lixiviado+5% Dolomita	0.00	0.91	0.00	-0.99
48	Lixiviado+5% Dolomita	0.00	2.22	0.00	-0.98
72	Lixiviado+5% Dolomita	8.33	2.22	0.18	-0.98
24	Lixiviado+10% Dolomita	50.00	7.14	3.57	-0.93
48	Lixiviado+10% Dolomita	75.42	12.50	9.43	-0.88
72	Lixiviado+10% Dolomita	91.88	18.39	16.89	-0.82
24	Lixiviado+20% Dolomita	38.89	10.05	3.84	-0.90
48	Lixiviado+20% Dolomita	69.44	15.37	10.67	-0.85
72	Lixiviado+20% Dolomita	76.07	20.42	15.53	-0.80

En la Tabla 7, se observan los resultados de la evaluación del efecto del tiempo de contacto del lixiviado y la dolomita, así como el efecto del porcentaje de dolomita, de manera general se puede observar que en todos los tratamientos la toxicidad es alta, con valores de elongación radicular que van desde -0.8 a -0.99. La tendencia a la reducción de la toxicidad del lixiviado se mantiene en función al tiempo y al porcentaje de dolomita, sin embargo, en el tratamiento de lixiviado con dolomita al 10% por 72 horas se logró mayor índice de germinación que el lixiviado con dolomita al 20% con el mismo tiempo. Este resultado es influenciado por el número de semillas germinadas en el testigo. De manera general se podría decir que el tiempo de contacto del lixiviado con la dolomita es el factor que predomina en este tipo de tratamiento.

Se sabe que muchos factores pueden afectar la longitud de la raíz (alargamiento) y el índice de germinación (IG), como niveles desfavorables de pH en combinación con metales

pesados, EC y aniones, que pueden afectar la fitotoxicidad de los lixiviados. La fitotoxicidad es el resultado de una combinación de varios factores, que tienen efectos inhibidores, sobre el crecimiento de las plantas. Los metales contenidos en los lixiviados pueden tener un doble efecto, estimulación o inhibición, sobre el crecimiento de semillas. Los metales pesados pueden inhibir la germinación de las semillas de las plantas y el alargamiento de las raíces, cuando sus concentraciones superan un cierto valor (Phoungthong et al. 2018).

Bożym (2020) mencionan que en su investigación de fitotoxicidad de lixiviados de fundición, mediante la germinación de semillas de *Lepidium sativum*., que el valor del pH puede afectar negativamente al IG y el alargamiento de la raíz sólo en presencia de otros factores como alta concentración de metales pesados. Sin embargo, encontraron una influencia negativa del pH del lixiviado en IG sólo a un nivel de pH fuertemente ácido, $\text{pH} < 2$ y un pH fuertemente alcalino, $\text{pH} > 13$. Los autores afirmaron que, el pH del lixiviado puede estar correlacionado con el IG hasta cierto punto, lo cual es insignificante.

Giagnoni et al. (2020), realizaron un estudio para conocer el efecto de la piedra caliza dolomítica en el fitomanejo de un suelo contaminado con lixiviados con alta concentración de cobre, estos autores mencionan que el tratamiento fue efectivo, resultado que probablemente se deba a las reacciones que se produzcan con óxidos y carbonatos procedentes de la dolomita y por otro lado por el aporte de macronutrientes como el calcio y el magnesio que son componentes mayoritarios en la dolomita.

Tangviroon et al. (2020), investigaron el efecto de la dolomita para el tratamiento de lixiviados de residuos mineros, los cuales estaban concentrados de metales pesados diversos, estos autores utilizaron la dolomita en bruto y la dolomita calcinada y hacen referencia al bajo costo del mineral y la buena eficiencia en la inmovilización de metales pesados, así como en su capacidad para amortiguar y aumentar el pH de los lixiviados, esta condición permite que se formen óxidos o hidróxidos de los metales presentes en el lixiviado y así mismo se produzca una adsorción de iones catiónicos de los metales pesados. Para el caso específico el pH inicial del lixiviado fue de 5.2 y la dolomita disminuyó considerablemente la concentración de plomo y zinc.

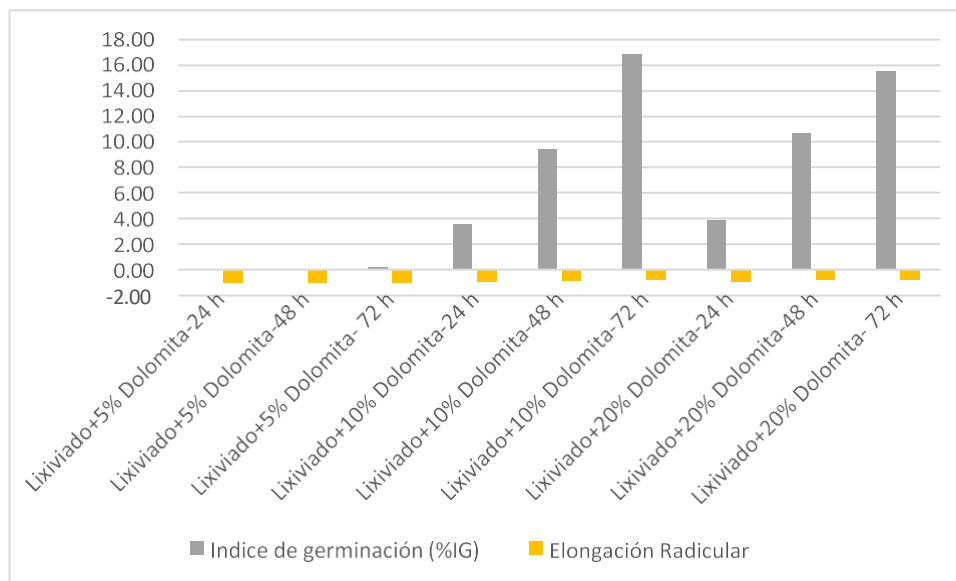


Figura 6. Efecto del porcentaje de dolomita y tiempo de contacto en la toxicidad de un lixiviado medido con el índice de germinación y elongación radicular de semillas de *Raphanus sativus* .

V. CONCLUSIONES

La dolomita es un mineral que tiene la capacidad de reducir la toxicidad de un lixiviado de vertedero residuos sólidos municipales.

La aplicación de dolomita al lixiviado en mayor porcentaje en peso incrementa el índice de germinación y la elongación radicular de las semillas de *Raphanus sativus L.*

El tiempo de contacto para la reacción de la dolomita y el lixiviado es directamente proporcional a los valores del índice de germinación y elongación radicular de las semillas de *Raphanus sativus L.*

El efecto de la dolomita aplicada en un 10% y 20% al lixiviado por un tiempo de 72 horas, presentan entre sí, valores similares de índice de germinación y elongación radicular, sin embargo estos valores difieren significativamente con el resultado logrado con 120 horas de tiempo de contacto.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Efecto de la aplicación de la dolomita en la reducción de la toxicidad de un lixiviado de residuos municipales utilizando otros tipos de semillas que permitan contrastar sus efectos y manejar de manera correcta las variables en su aplicación a escala real.

Evaluar los lixiviados de diferentes edades a fin de determinar el efecto de la dolomita en diferentes características fisicoquímicas.

Evaluar la adecuación de la dolomita como un adsorbente, es decir, evaluar si la generación de una mayor área superficial por procesos físicos o químicos permite mejorar la adsorción de contaminantes del lixiviado.

Efecto en la adsorción de calidad y cantidad de contaminantes del lixiviado, utilizando el Biocarbon como material Absorbente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bagur-González M.G., Estepa-Molina C., Martín-Peinado, F. y Morales-Ruano, S. (2011). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *J. Soil. Sediment.* 11, 281-289.
- Bench A.R., Fenner, M. and Edwards, P., (1991). Changes in germinability, ABA content and ABA embryonic sensitivity in developing seeds of *Sorghum bicolor* (L.) Moench induced by water stress during grain filling. *New Phytologist*, 118, 339–347.
- Bennett, Peter & Longstaffe, Fred & Rowe, Ronald. (2000). The stability of dolomite in landfill leachate-collection systems. *Canadian Geotechnical Journal*, 37 (2): 371- Quanzhi Tian, Binglin Guo, Shingo Nakama, Li Zhang, Zhaochu Hu, Keiko Sasaki,
- Biswas, A., & Davenport, W. (2015). El cobre - Metalurgia Extractiva. México: Mc Graw Hill.
- Bożym M.(2020). Assessment of phytotoxicity of leachates from landfilled waste and dust from foundry. *Ecotoxicology* 29:429–443 <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02197-1>.
- Giagnoni, Laura, Luiz Gustavo dos Anjos Borges, Adriana Giongo, Andressa de Oliveira Silveira, Alexandria N. Ardisson, Eric W. Triplett, Michel Mench y Giancarlo Renella. (2020). Las modificaciones de dolomita y abono mejoran la fitoestabilización del Cu y aumentan la microbiota de los lixiviados de un suelo contaminado con Cu. *Agronomía* 10, núm. 5: 719. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050719>.
- Grupo Vento, (2018). Tratamiento de lixiviados, <https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/tratamiento-de-lixiviados/>
- Gruszecka-Kosowska A., Baran P., Wdowin M., Franus W.,(2017). Waste dolomite powder as an adsorbent of Cd, Pb(II), and Zn from aqueous solutions, *Environ Earth Sci* 76:521, DOI 10.1007/s12665-017-6854-8.
- Hans-Jürgen E. , Stegmann R.,(2018). Chapter 10.2 - Leachate Quality, Editor(s): Raffaello Cossu, Rainer Stegmann, Solid Waste Landfilling, Elsevier, Pages 511-539, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00026-7>
- Hernández R., Fernández C. Baptista M. (2010). Metodología de la Investigación, McGraw- Hill / Interamericana editores, s.a. de c.v..Quinta Edición.

- Hoss L., Zanatta R., Quadro M., Kunde Corrêa E., Andreazza R.,(2022). Evaluation of the phytotoxicity of landfill leachate treated with a Rotating Biological Reactor, *Eng Sanit Ambient* ,27(1),47-53. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200283>
- Jie Liu, Zhepei Gu, Xiqin Wang, Qibin Li (2022).The molecular differences of young and mature landfill leachates: Molecular composition, chemical property, and structural characteristic,*Chemosphere*,287, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132215>.
- Kader, M.A. (2005). A Comparison of Seed Germination Calculation Formulae and the Associated Interpretation of Resulting Data. *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 138, 65–75.
- Khalil, C., Al Hageh, C., Korfali, S., & Khnayzer, R. S. (2018). Municipal leachates health risks: Chemical and cytotoxicity assessment from regulated and unregulated municipal dumpsites in Lebanon. *Chemosphere*, 208, 1–13.
- Klauck, CR. , Rodrigues, M. and Silva, LB., (2015). Evaluation of phytotoxicity of municipal landfill leachate before and after biological treatment. *Braz. J. Biol.* 75,(2), S57- S62, <https://doi.org/10.1590/1519-6984.1813>.
- O'Driscoll, M. (2008). Dolomite, More Than Crushed Stone. México: Limusa.
- Pesonen, J, Myllymäki,P., Tuomikoski S., Vervecken, G., Hu T.,Prokkola H.,Tynjälä P., Lassi U. (2019). Use of Calcined Dolomite as Chemical Precipitant in the Simultaneous Removal of Ammonium and Phosphate from Synthetic Wastewater and from Agricultural Sludge. *Chem Engineering* 2019, 3, 40; doi:10.3390/chemengineering3020040.
- Phoungthong K, Shao LM, He PJ, Zhang H (2018) Phytotoxicity and groundwater impacts of leaching from thermal treatment residues in roadways. *J Environ Sci* 63:58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jes201611009>.
- Quanzhi Tian, Binglin Guo, Shingo Nakama, Li Zhang, Zhaochu Hu, Keiko Sasaki,(2019).Reduction of undesirable element leaching from fly ash by adding hydroxylated calcined dolomite,*Waste Management*, 86, 23-35, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.027.378>, doi: [10.1139/cgj-37-2-371](https://doi.org/10.1139/cgj-37-2-371).
- Ramires MF, Souza EL, Fontanive DE, Bianchetto R, Krynski AM, Cezimbra JCG, Antonioli ZI.(2019). Ecotoxicology of pig slaughterhouse waste using *Lactuca sativa* L., *Raphanus sativus* L., and *Oryza sativa* L. *Rev Bras Cienc Solo*.43:e0180119. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180119>.

- Rodriguez, J., Ruiz, R., López-López, E., Sedeño, J. (2014). Índices de germinación y elongación radicular de *Lactuca sativa* en el biomonitorio de la calidad del agua del río Chalmá, *Rev. Int. Contam. Ambie.* 30 (2) 307-316.
- Sobik-Szołtysek, Jolanta. (2021). El efecto del pH sobre la estabilidad de una barrera de aislamiento hecha de residuos posflotación de dolomita. *Minerales* 11, núm. 12: 1384. <https://doi.org/10.3390/min11121384>.
- Socho, Eleonora, Andżelika Domoń, Dorota Papciak, Magdalena M. Michel, Dariusz Pająk, Bogumił Cieniek y Mostafa Azizi (2023). Características del proceso de adsorción/desorción del adsorbente de dolomita en la eliminación de cobre (II) de soluciones acuosas. *Materiales* 16, núm. 13: 4648. <https://doi.org/10.3390/ma16134648>.
- Šourková, Markéta, Dana Adamcová, Jan Zloch, Zdzisław Skutnik y Magdalena Daria Vavrková (2020). Evaluación de la fitotoxicidad del lixiviado de un vertedero municipal de residuos sólidos: el estudio de caso del vertedero de Bukov *Ambientes* 7, núm. 12: 111. <https://doi.org/10.3390/environments7120111>.
- Tangviroon, Pawit, Kenta Noto, Toshifumi Igarashi, Takeshi Kawashima, Mayumi Ito, Tsutomu Sato, Walubita Mufalo, Meki Chirwa, Imasiku Nyambe, Hokuto Nakata, y et al. (2020). Inmovilización de plomo y zinc lixiviados de materiales residuales mineros en Kabwe, Zambia: posibilidad de inmovilización química mediante dolomita, dolomita calcinada y óxido de magnesio *Minerales* 10, núm. 9: 763. <https://doi.org/10.3390/min10090763>.
- Torres-González, O.R.; Sánchez-Hernández, I.M.; Flores-Soto, M.E.; Chaparro-Huerta, V.; Soria-Fregozo, C.; Hernández-García, L.; Padilla-Camberos, E.; Flores-Fernández, J.M. (2021). Landfill Leachate from an Urban Solid Waste Storage System Produces Genotoxicity and Cytotoxicity in Pre-Adolescent and Young Adults Rats. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 11029. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111029>.
- Torrey, J. G. (1976). Hormonas de raíz y crecimiento de plantas. *Ann Rev. Plant Physiol* 27, 437-59, <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.27.060176.002251>
- Urriola, L., Montes, K., Díaz, M. (2022). Efecto fitotóxico de extractos diluidos de abonos orgánicos en semillas de lechuga. *Revista Semilla del Este*, 3(1), 114-126

VIII. ANEXOS

8.1. Resultados de los datos experimentales

Tabla 8. Medición de parámetros para la caracterización fisicoquímica del lixiviado.

Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura	28.2	°C
1R	28.2	°C
2R	28.7	°C
3R	27.8	°C
pH	6.83	
1R	7.2	
2R	6.9	
3R	6.4	
DQO	9545.33	mg/L
1R	9243	mg/L
2R	9533	mg/L
3R	9860	mg/L
Sólidos Totales	15813.66	mg/L
1R	17250	mg/L
2R	15306	mg/L
3R	14885	mg/L
Conductividad	30.1	mS/cm
1R	29.5	mS/cm
2R	28.8	mS/cm
3R	32.1	mS/cm

Tabla 9. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con tres porcentajes de dolomita en 120 horas.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	N° semillas germinadas en los tratamientos	N° semillas germinadas en el testigo	Longitud epicotilo (cm)	Longitud radícula de las plantas (cm)	Longitud promedio de radícula en los tratamientos (cm)	Longitud promedio de radícula en el testigo(cm)
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	10	10	0	0.1	0.11	1.2
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	11	12	0	0.11	0.11	1.2
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	9	11	0	0.12	0.11	1.2
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	13	14	0.12	0.1	0.18	1.4
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	12	13	0.3	0.3	0.18	1.4
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	13	13	0.15	0.15	0.18	1.4
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	16	14	0.5	0.9	1.13	1.5
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	17	15	0.6	1.3	1.13	1.5
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	16	15	0.8	1.2	1.13	1.5

Tabla 10. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con tres porcentajes de dolomita en 120 horas.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	100.00	9.17	9.17	-0.91
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	91.67	9.17	8.40	-0.91
120 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	81.82	9.17	7.50	-0.91
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	92.86	13.10	12.16	-0.87
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	92.31	12.86	11.87	-0.87
120 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	100.00	12.86	12.86	-0.87
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	114.29	75.56	86.35	-0.24
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	130.77	75.33	85.38	-0.25
120 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	133.33	75.33	80.36	-0.25

Tabla 11. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con un porcentaje de dolomita a tres tiempos diferentes.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	N° semillas germinadas en los tratamientos	N° semillas germinadas en el testigo	Longitud epicotilo(cm)	Longitud radícula de las plantas(cm)	Longitud promedio de radícula en los tratamientos(cm)	Longitud promedio de radícula en el testigo(cm)
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	0	3	0	0	0	1
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	0	5	0	0	0	1.1
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	0	3	0	0	0	1
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	5	8	0.11	0.1	0.10	1.2
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	6	10	0.15	0.1	0.10	1.2
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	4	9	0.15	0.1	0.1	1.2
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	9	12	0.3	0.3	0.33	1.3
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	10	13	0.3	0.4	0.33	1.3
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	11	12	0.4	0.3	0.33	1.3

Tabla 12. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con un porcentaje de dolomita en tres tiempos diferentes

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	0.00	0.00	0.00	-1.00
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	0.00	0.00	0.00	-1.00
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	0.00	0.00	0.00	-1.00
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	62.50	8.33	5.21	-0.92
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	60.00	8.33	5.00	-0.92
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	44.44	8.33	3.70	-0.92
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	75.00	25.64	19.23	-0.74
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	76.92	25.38	19.53	-0.75
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	91.67	25.38	23.27	-0.75

Tabla 13. Conteo de semillas germinadas y medición de la radícula con tres porcentajes de dolomita a tres tiempos diferentes.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	N° semillas germinadas en los tratamientos	N° semillas germinadas en el testigo	Longitud epicotilo (cm)	Longitud radícula de las plantas(cm)	Longitud promedio de radícula en los tratamientos(cm)	Longitud promedio de radícula en el testigo(cm)
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0	3	0	0.01	0.01	1.1
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	0	5	0	0.01	0.01	1.1
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0	3	0	0.01	0.01	1.1
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0	4	0	0.03	0.03	1.3
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	0	3	0	0.02	0.03	1.3
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0	3	0	0.03	0.03	1.3
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0	2	0	0.04	0.03	1.4
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	1	4	0	0.03	0.03	1.4
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0	3	0	0.03	0.03	1.4
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	3	6	0	0.1	0.1	1.4
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	3	7	0	0.1	0.1	1.4
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	4	7	0	0.1	0.1	1.4
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	7	9	0.3	0.2	0.20	1.6
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	6	9	0.2	0.1	0.20	1.6
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	9	11	0.2	0.3	0.2	1.6

Tiempo	Tratamiento	Repetición	N° semillas germinadas en los tratamientos	N° semillas germinadas en el testigo	Longitud epicotilo(cm)	Longitud radícula de las plantas(cm)	Longitud promedio de radícula en los tratamientos(cm)	Longitud promedio de radícula en el testigo(cm)
72 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	12	13	0.4	0.4	0.33	1.8
72 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	12	12	0.4	0.2	0.33	1.8
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	1	4	0	0.2	0.2	2.1
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	1	4	0	0.3	0.2	2.1
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	2	3	0	0.2	0.2	2.1
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	5	6	0.2	0.4	0.37	2.4
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	4	8	0.1	0.4	0.37	2.4
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	6	8	0.5	0.3	0.37	2.4
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	8	13	0.4	0.5	0.53	2.6
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	9	12	0.3	0.5	0.53	2.6
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	11	12	0.2	0.6	0.53	2.6

Tabla 14. Determinación del índice de germinación y elongación radicular con tres porcentajes de dolomita en tres tiempos diferentes

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Índice de germinación (%IG)	Elongación Radicular (%IER)
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0.00	0.91	0.00	-0.99
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	0.00	0.91	0.00	-0.99
24 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0.00	0.91	0.00	-0.99
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0.00	2.05	0.00	-0.98
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	0.00	2.31	0.00	-0.98
48 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0.00	2.31	0.00	-0.98
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	1R	0.00	2.38	0.00	-0.98
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	2R	25.00	2.14	0.54	-0.98
72 horas	Lixiviado+5% Dolomita	3R	0.00	2.14	0.00	-0.98
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	50.00	7.14	3.57	-0.93
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	42.86	7.14	3.06	-0.93
24 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	57.14	7.14	4.08	-0.93
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	77.78	12.50	9.72	-0.88
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	66.67	12.50	8.33	-0.88

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Germinación relativa de semillas (%GRS)	Crecimiento relativo de radícula (%CRR)	Indice de germinación (%IG)	Elongación Radicul ar (%IER)
48 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	81.82	12.50	10.23	-0.88
72 horas	Lixiviado+10% Dolomita	1R	83.33	18.52	15.43	-0.81
72 horas	Lixiviado+10% Dolomita	2R	92.31	18.33	16.92	-0.82
72 horas	Lixiviado+10% Dolomita	3R	100.00	18.33	18.33	-0.82
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	25.00	11.11	2.78	-0.89
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	25.00	9.52	2.38	-0.90
24 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	66.67	9.52	6.35	-0.90
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	83.33	15.28	12.73	-0.85
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	50.00	15.42	7.71	-0.85
48 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	75.00	15.42	11.56	-0.85
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	1R	61.54	20.51	12.62	-0.79
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	2R	75.00	20.38	15.29	-0.80
72 horas	Lixiviado+20% Dolomita	3R	91.67	20.38	18.69	-0.80

8.2. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software estadístico InfoStat

Análisis de la varianza Índice de germinación (%IG)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Índice de germinación (%IG..	27	0.82	0.78	45.81	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	908.90	4	227.23	24.27	<0.0001
Tiempo	317.53	2	158.76	16.96	<0.0001
Tratamiento	591.38	2	295.69	31.58	<0.0001
Error	205.97	22	9.36		
Total	1114.87	26			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 9.3621 gl: 22

Tiempo	Medias	n	E.E.	
24 horas	2.47	9	1.02	A
48 horas	6.70	9	1.02	B
72 horas	10.87	9	1.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 9.3621 gl: 22

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Lixiviado+5% Dolomita	0.06	9	1.02	A
Lixiviado+10% Dolomita	9.96	9	1.02	B
Lixiviado+20% Dolomita	10.01	9	1.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Elongación Radicular (%IER)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Elongación Radicular (%IER)	27	0.92	0.91	2.34	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.12	4	0.03	65.65	<0.0001
Tiempo	0.02	2	0.01	27.95	<0.0001
Tratamiento	0.09	2	0.05	103.36	<0.0001
Error	0.01	22	4.5E-04		
Total	0.13	26			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0004 gl: 22

Tiempo	Medias	n	E.E.	
24 horas	-0.94	9	0.01	A
48 horas	-0.90	9	0.01	B
72 horas	-0.86	9	0.01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0004 gl: 22

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Lixiviado+5% Dolomita	-0.98	9	0.01	A
Lixiviado+10% Dolomita	-0.88	9	0.01	B
Lixiviado+20% Dolomita	-0.85	9	0.01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8.3. Imágenes de la investigación



Figura 7. Trituración de la dolomita



Figura 8. Medición del volumen de agua para hidratación de la dolomita



Figura 9. Pesado de la dolomita



Figura 10. Proceso de hidratación de la dolomita.



Figura 11. Pesado de la dolomita hidratada



Figura 12. Recolección de lixiviado



Figura 13. Imagen del sitio de recolección de lixiviado



Figura 14. Toma de muestras de lixiviado



Figura 15. Tratamiento de lixiviado con aplicación de dolomita.



Figura 16. Filtración del lixiviado tratado con dolomita

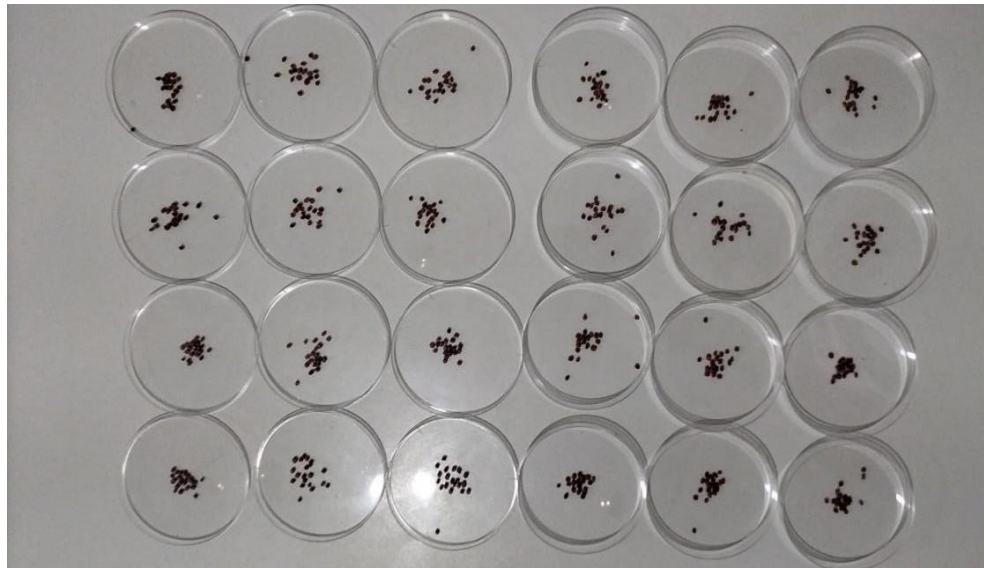


Figura 17. Preparación de las semillas de *Raphanus sativus*



Figura 18. Aplicación de lixiviado a las semillas de *Raphanus sativus* L.



Figura 19. Muestras de semillas de rabanito en periodo de evaluación

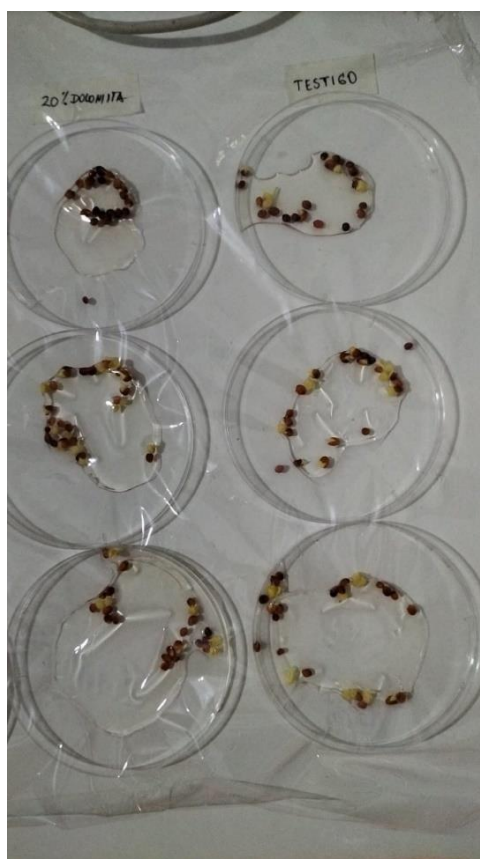


Figura 20. Semillas de *Raphanus sativus* en germinación



Figura 21. Visualización de la germinación de las semillas germinadas



Figura 22. Medición del crecimiento de las semillas germinadas

