



Análisis del crecimiento de *Trifolium repens* cultivado en pasivos mineros artificialmente como estrategia de remediación

ARTÍCULO ORIGINAL

Analysis of the growth of *Trifolium repens* cultivated on artificially created mining liabilities as a remediation strategy



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.274>

Análise do crescimento de *Trifolium repens* cultivado em passivos minerários artificialmente como estratégia de remediação

Russbelt Yaulilahua-Huacho¹
russbeltyauli24@gmail.com

Jorge Luis Huere-Peña²
jorge.huere@unh.edu.pe

Liliana Asunción Sumarriva-Bustinza³
lsumarriva@une.edu.pe

Cesar Castañeda-Campos²
cesar.castaneda@unh.edu.pe

Manuel Agustín Martínez-Cáceres³
mmartinez@une.edu.pe

¹Independiente, Huancavelica-Perú

²Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú

³Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima-Perú

Artículo recibido 1 de marzo 2024 / Arbitrado 21 de marzo 2024 / Publicado 2 de mayo 2024

RESUMEN

Los pasivos ambientales mineros generan la degradación del suelo a la contaminación agua; por ello, que el uso de materia orgánica y humus como estimulantes y plantas con elevada producción de biomasa que a través de sus raíces hagan la extracción de contaminantes. De ahí que el **objetivo** fue evaluar la germinación y crecimiento del pasto trébol blanco (*Trifolium repens*) en pasivos mineros, con la adición de tierra negra y compost como sustratos. El estudio se realizó en la Compañía Buenaventura Julcani Huancavelica. Los tratamientos estudiados fueron: T1 (relave puro), T2 (relave puro y tierra negra), T3 (relave puro y compost), T4 (relave puro, tierra negra y compost) en combinaciones de 4: 3:1: 3:1: 3:1:1 con total de doce unidades experimentales. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 1 x 4, considerando en cada tratamiento doce repeticiones. Los **resultados**, en germinación de semillas de *Trifolium repens* a los 18 días, se obtuvo un porcentaje de germinación del 31 ± 7 en el tratamiento uno de relave puro (grupo control), el 55 ± 10 en tratamiento dos de relave puro y tierra negra, el 26 ± 10 en tratamiento tres de relave puro y compost, y el 41 ± 9 en el tratamiento cuatro de relave puro, tierra negra y compost, para las semillas de *Trifolium repens*. La combinación de relave puro, tierra negra y compost mejora la germinación en comparación con el grupo control y el tratamiento tres, pero no alcanza la efectividad del tratamiento dos.

Palabras clave: Contaminación; Compost; Pastos cultivados; Pasivos mineros; Trébol blanco; Tierra negra; Relave puro

ABSTRACT

Mining environmental liabilities generate soil degradation and water pollution; Therefore, the use of organic matter and humus as stimulants and plants with high biomass production that extract contaminants through their roots. Hence, the **objective** was to evaluate the germination and growth of white clover grass (*Trifolium repens*) in mining passives, with the addition of black soil and compost as substrates. The study was carried out at the Buenaventura Julcani Huancavelica Company. The treatments studied were: T1 (pure tailings), T2 (pure tailings and black earth), T3 (pure tailings and compost), T4 (pure tailings, black earth and compost) in combinations of 4: 3:1: 3:1: 3:1:1 with a total of twelve experimental units. A completely randomized design (CRD) with a 1 x 4 factorial arrangement was used, considering twelve repetitions in each treatment. The **results**, in germination of *Trifolium repens* seeds after 18 days, a germination percentage of 31 ± 7 was obtained in treatment one of pure tailings (control group), 55 ± 10 in treatment two of pure tailings and black earth, 26 ± 10 in treatment three of pure tailings and compost, and 41 ± 9 in treatment four of pure tailings, black earth and compost, for *Trifolium repens* seeds. The combination of pure tailings, black soil and compost improves germination compared to the control group and treatment three, but does not reach the effectiveness of treatment two.

Key words: Pollution; Compost; Cultivated grasses; Mining liabilities; White clover; Black soil; Pure tailings

RESUMO

O passivo ambiental da mineração gera degradação do solo e poluição das águas; Portanto, a utilização de matéria orgânica e húmus como estimulantes e plantas com alta produção de biomassa que extraem contaminantes através de suas raízes. Assim, **objetivou-se** avaliar a germinação e o crescimento do capim trevo branco (*Trifolium repens*) em passivos de mineração, com adição de terra preta e composto como sustratos. O estudo foi realizado na Empresa Buenaventura Julcani Huancavelica. Os tratamentos estudados foram: T1 (rejeitos puros), T2 (rejeitos puros e terra preta), T3 (rejeitos puros e composto), T4 (rejeitos puros, terra preta e composto). em combinações de 4:3:1:3:1:3:1:1 com um total de doze unidades experimentais. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DCA) com arranjo fatorial 1 x 4, considerando doze repetições em cada tratamento. Os **resultados**, na germinação das sementes de *Trifolium repens* após 18 dias, obteve-se uma porcentagem de germinação de 31 ± 7 no tratamento um de rejeito puro (grupo controle), 55 ± 10 no tratamento dois de rejeito puro e terra preta, 26 ± 10 . no tratamento três de rejeito puro e composto, e 41 ± 9 no tratamento quatro de rejeito puro, terra preta e composto, para sementes de *trifolium repens*. A combinação de rejeito puro, terra preta e composto melhora a germinação em comparação ao grupo controle e ao tratamento três, mas não atinge a eficácia do tratamento dois.

Palavras-chave: Poluição; Composto; Pastagens cultivadas; Passivos minerários; Trevo branco; Solo negro; Rejeitos puros

INTRODUCCIÓN

La actividad minera conduce a la degradación del suelo, erosión, contaminación del agua y pérdida de la biodiversidad (1). Este problema afecta a zonas directa e indirecta a la exploración y explotación minera. La exposición a contaminantes en los pasivos mineros puede tener efectos adversos para la salud humana, incluyendo problemas respiratorios, enfermedades relacionadas con metales pesados (2). Estos tienen consecuencias socioeconómicas significativas, incluyendo la pérdida de medios de vida, el desplazamiento de comunidades locales, disminución del valor de la tierra e interrupción de actividades económicas (3). El Perú es reconocido a nivel internacional por sus considerables reservas mineras, lo que impulsa la producción y exportación de metales tales como plata (Ag), cobre (Cu), zinc (Zn) y oro (Au) (4). No obstante, esta actividad ha dejado numerosos pasivos mineros en diversas regiones del país. La regulación y gestión efectivas de los pasivos mineros son fundamentales para mitigar sus impactos negativos y promover una minería responsable y sostenible en el país (5).

Por lo que, la recuperación de los pasivos mineros demanda esfuerzos de rehabilitación y restauración del paisaje, con el fin de recuperar la calidad del suelo, agua y biodiversidad. Ya que se garantiza la seguridad a largo plazo de las comunidades locales y medio ambiente, mediante el uso de tecnologías de remediación apropiada (6). Actualmente, existen muchas tecnologías basadas en procesos biológicos, fisicoquímicos

o térmicos; con el propósito de aislar o eliminar contaminantes (7,8).

En este sentido, la fitorremediación es una tecnología innovadora amigable con el ambiente que puede emplearse a gran escala. Esta se fundamenta en las capacidades naturales de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos. Los que pueden ser metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y otros (9-11).

Además, se han realizado estudios de fitoestimulación con materia orgánica y otros bioestimulantes y se han centrado en plantas de interés agronómico, se ha dejado de lado el hecho de que la evidencia científica sobre sus efectos también se podría aplicar desde una perspectiva ambiental, para mejorar los procesos de fitorremediación, por lo que, tales efectos podrían contribuir con la eficiencia en la descontaminación mediada por las plantas en medios acuáticos y terrestres. Es conveniente el estudio de nuevos enfoques para mejorar el desempeño de las plantas utilizadas en la tecnología de fitorremediación. Esta perspectiva puede sustentarse desde el punto de vista que la fitoestimulación con AH proporciona a las plantas mayor capacidad para crecer, producir biomasa y aumentar el sistema radical, a su vez, estas condiciones son las que necesitan las plantas fitorremediadoras para llevar a cabo de forma eficiente la descontaminación de ambientes acuáticos y terrestres (12).

Una variante es la utilización del *Trifolium repens* junto con la aplicación de tierra negra y compost ha demostrado ser una opción prometedora para la recuperación de suelos contaminados por actividad minera, por las razones antes expuestas. Muchas investigaciones reportan que el pasto *Trifolium repens* puede remediar suelos contaminados por pasivos mineros, debido a que tiene la capacidad de estabilizar y concentrar los metales pesados u otros contaminantes en tejidos foliares y raíces (13). Esta planta ha sido ampliamente recomendada para su uso en procesos de remediación de suelos contaminados por estas sustancias (14,15). En la actual investigación justifica su enfoque ambiental al señalar que la actividad minera causa una contaminación significativa en el medio ambiente debido a su alto grado de toxicidad, resultando en la infertilidad del suelo y la contaminación del agua que supera los límites establecidos por el Ministerio de Salud. Esto es especialmente preocupante dado que las empresas mineras, tanto formales como informales, operan en áreas donde estos recursos son vitales tanto para la población como para el ecosistema. El propósito de este trabajo es ofrecer alternativas para tratamiento de los pasivos ambientales mineros.

Es por esto, que la importancia de agregar tierra negra y compost en procesos de remediación de suelos contaminados por relaves mineros se debe, principalmente, a que actúa como acondicionador o enmienda de suelos al facilitar la extracción del contaminante y como estimulantes

del crecimiento para las plantas, de ahí que, en la medida, que hay mayor crecimiento de la biomasa aérea y de raíces, existe mayor posibilidad de incrementar la extracción de contaminantes y metales pesados (16,17). Actualmente, en algunas regiones en países de Latinoamérica entre ellos en Huancavelica, Perú, el desarrollo de la actividad minera legal e ilegal ha incrementado de manera significativa generando la contaminación del medio ambiente, específicamente del suelo y agua. Estos contaminantes de relaves mineros, se precipitan en suelos de pastoreo y agrícolas, lo cual genera un problema potencial de contaminación. Así, la remediación de suelos contaminado mediante el uso de *Trifolium repens*, tierra negra y compost constituye una estrategia importante para la remediación de suelo contaminado por relave minero. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue evaluar la germinación y crecimiento del pasto forrajera *Trifolium repens* en pasivos ambientales mineros de la Compañía Buenaventura Julcani Huancavelica, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Compañía Buenaventura Julcani del distrito de Ccosaccasa Huancavelica- Perú, a 64 kilómetros (km) al sureste de la ciudad de Huancavelica, a una altitud entre 4200 – 4550 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una temperatura media anual 10 y -5.5 °C. El muestreo se realizó en noviembre del 2021.

Para la investigación de tipo aplicada y experimental, se consideró el estanque de relaves mineros número 9 con un área de 199,750 m². El área de estudio fue evaluada previo a la identificación de 6 puntos de muestreo de los cuales se tomaron 5 kilogramos (kg) por punto, haciendo un total de 30 kg de relaves, los cuales fueron tomados al azar, pertenecientes a la Unidad Minera Julcani - Buenaventura del Centro Poblado de San Pedro de Mimosa del Distrito de Ccochaccasa Huancavelica-Perú, siendo cada muestra etiquetada en bolsas herméticas para no alterar los componentes de las mismas y trasladada según los protocolos de protección personal y protocolos de muestreo de suelos que son contaminados y emitidos por el Ministerio de Energía y Minas del Perú (18). Mientras que la tierra negra sin materia orgánica de con peso de 10 kg fue trasladada desde el poblado de Yaurichucho a 10 km de la ciudad de Huancavelica y el traslado del compost de 10 kg desde la planta de tratamiento de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Huancavelica, se realizó según MINAM (19).

Eta etapa previa al estudio, se combinaron de los sustratos relave puro (RP), tierra negra (TN) y compost (C) se realizó cuidadosamente para cada tratamiento. El trabajo de homogenización se realizó con ayuda de pala como herramienta. Para TN y C se realizó el tamizaje con el objetivo de lograr una germinación de pastos homogéneos.

Preparación de sustrato

La distribución del sustrato se llevó a cabo utilizando una balanza electrónica para cada tratamiento de la siguiente manera: En el Tratamiento (T1), que actuaba como grupo control, se emplearon 4.0 kg de RP. Para el Tratamiento (T2), se utilizaron 3.0 kg de RP junto con 1 kg de TN. En el Tratamiento (T3), se emplearon 3.0 kg de RP junto con 1 kg de C. Finalmente, en el Tratamiento (T4), se utilizaron 2.0 kg de RP, 1 kg de TN y 1 kg de C.

Proceso de siembra

Antes de iniciar el proceso de siembra, se contaron doscientas semillas para cada unidad experimental de cada tratamiento. La siembra de las semillas de *Trifolium repens* se llevó a cabo en suelo acondicionado y bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura para facilitar su germinación y crecimiento. Se utilizó el método de voleo, el cual implica esparcir las semillas al azar en el terreno a cielo descubierto. Cada unidad experimental tenía un tamaño de 20 x 20 centímetros (cm).

Riego de las plántulas

El riego se llevó a cabo de manera uniforme en todas las UE y tratamientos, utilizando una regadera, dos veces por semana por la mañana, según las condiciones ambientales de cada planta. El agua utilizada fue recolectada

en baldes de 18 litros (L), proveniente de la precipitación fluvial durante el periodo de ejecución del experimento, con el fin de no alterar los componentes de los sustratos.

Evaluación de germinación

A los 18 días después de la siembra, se observó que la germinación de los pastos en cada UE de los tratamientos alcanzó un 95%, lo cual fue minuciosamente contado. Los datos fueron registrados en un cuaderno de apuntes junto con la fecha correspondiente.

Crecimiento y persistencia de los pastos

El proceso de evaluación del crecimiento y persistencia del pasto *Trifolium repens* a lo largo del tiempo, así como la comparación de diferentes tratamientos y UE, requirió observación, medición con la ayuda de una cinta métrica, así como la persistencia de las plantas y análisis continuos dos veces por semana. Para el registro del conteo de persistencia de los pastos, se tomaron datos cada primera semana de cada mes desde noviembre 2021 al abril 2022, los cuales se registraron en cuaderno de apuntes minuciosamente.

Diseño

Para el experimento se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) (Ecuación 1), el cual consiste en la asignar los tratamientos de manera completa, con un arreglo factorial de 1 X 4, haciendo un total de cuadro tratamientos con doce UE en cada tratamiento, teniendo como modelo matemático el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento en el i-ésimo nivel de A, el j-ésimo nivel de B y la repetición k-ésima, μ = Media general, A_i = Efecto de la i-ésima variable (tipo de pasto), B_j = Efecto de la j-ésima variable (tipo de sustrato: relave, tierra negra y compost), $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la i-ésima variable A y la j-ésima variable B y ϵ_{ijk} = Error

Análisis estadístico

La investigación fue de tipo aplicada y experimental de método científico (20-21). Los resultados se presentaron en número de pastos germinados y sobrevivencia. Para análisis estadístico, se hizo un análisis descriptivo empleó el programa MS Excel versión 2019.

RESULTADOS

Germinación de semillas de *Trifolium repens*

Después de 18 días, se obtuvo el número de germinación del 31 ± 7 en el tratamiento uno de relave puro (grupo control), el 55 ± 10 en tratamiento dos de relave puro y tierra negra, el 26 ± 10 en tratamiento tres de relave puro y compost, y el 41 ± 9 en el tratamiento cuatro de relave puro, tierra negra y compost, para las semillas de *Trifolium repens*. La combinación de relave puro, tierra negra y compost mejora la germinación en comparación con el grupo control y el tratamiento tres, pero no alcanza la efectividad del tratamiento dos. En cuanto a la

efectividad de los tratamientos; el tratamiento dos es el más efectivo para promover la germinación de las semillas de *Trifolium repens*, lo que podría indicar que la combinación de relave minero con tierra negra crea un ambiente más propicio para la germinación que el relave minero (control). La adición de compost más el relave minero, ya o en combinación con tierra negra, no mejora significativamente la germinación en comparación con los demás sustratos, si tomamos en cuenta la mezcla de relave minero+compst con 26 semilla germinadas (13 % de 200 semillas), es menor en

5, 29 y 15 semilla germinadas o 2.5, 14.5 y 7.5 % al control, relave minero+tierra negra y relave minero+tierra negra+compost. Esto podría sugerir que, en este caso específico, que el compost no tiene un efecto tan positivo como la tierra negra o su efecto es dependiente de la proporción y tipo de suelo o relave con el que se combina Tabla 1. Vale destacar que las semillas germinadas fueron registradas cuando se detectaba la presencia de una radícula con una longitud mínima de 2 mm.

Tabla 1. Germinación de semillas del *Trifolium repens*.

Unidad experimental	Tipo sustrato			
	Relave minero (control)	Relave minero + tierra negra	Relave minero + compost	Relave minero + tierra negra + compost
1	43	61	19	52
2	32	71	26	48
3	40	49	34	48
4	34	36	21	38
5	37	53	18	53
6	22	66	16	45
7	26	58	23	39
8	23	47	17	36
9	28	65	36	46
10	27	57	45	28
11	33	49	38	26
12	29	47	17	35
Media	31	55	26	41
DE±	7	10	10	9

Sobrevivencia de *Trifolium repens* por meses del año

La supervivencia del *Trifolium repens* bajo diferentes sustratos y sus mezclas a lo largo de meses en estudio (enero-abril) presentó variaciones en cuanto a la persistencia. Para el

relave minero (grupo control), se observó una supervivencia del 17 ± 4 en enero, decreciendo a 5 ± 4 en febrero, y llegando a cero en marzo y abril. La combinación del relave minero+ tierra negra, mostró tasas de supervivencia más altas, de 46 ± 5 en enero, decreciendo a 33 ± 4 en febrero,

21±4 en marzo, y finalmente cero en abril. Para relave minero+compost, se registraron tasas de 16±9 en enero, reduciéndose a 4±3 en febrero, 2±2 en marzo, y 0 en abril. Y en el caso de relave minero+tierra negra+compost, mostró tasas de 26±9 en enero, 12±3 en febrero, y cero en

marzo y abril. En cuanto al efectividad de los sustratos y sus mezclas; la combinación de relave minero+tierra negra demuestra tener mayor efectividad hasta en el tiempo, aunque fue decreciendo hasta llegar a cero en el mes de abril Tabla 2.

Tabla 2. Supervivencia del pasto *Trifolium repens* según meses de estudio.

UE	Relave minero (control)				Relave minero + tierra negra				Relave minero + compost				Relave minero + tierra negra + compost			
	Enr	Feb	Mar	Abr	Enr	Feb	Mar	Abr	Enr	Feb	Mar	Abr	Enr	Feb	Mar	Abr
1	21	10	0	0	56	36	27	0	15	0	0	0	28	17	0	0
2	17	7	0	0	53	41	29	0	18	4	4	0	34	15	0	0
3	23	12	0	0	45	34	15	0	22	9	5	0	36	13	0	0
4	20	6	0	0	45	31	17	0	11	4	2	0	35	16	0	0
5	25	12	0	0	49	38	23	0	16	7	3	0	38	14	0	0
6	18	5	0	0	47	29	23	0	9	5	1	0	18	12	0	0
7	15	3	0	0	42	28	18	0	13	4	3	0	14	11	0	0
8	12	1	0	0	39	31	21	0	7	3	2	0	27	10	0	0
9	15	2	0	0	43	36	19	0	10	3	0	0	23	11	0	0
10	13	1	0	0	42	30	24	0	36	9	5	0	16	8	0	0
11	15	4	0	0	46	35	19	0	28	1	0	0	15	6	0	0
12	13	2	0	0	47	29	21	0	9	2	0	0	27	12	0	0
Media	17	5	0	0	46	33	21	0	16	4	2	0	26	12	0	0
DE±	4	4	0	0	5	4	4	0	9	3	2	0	9	3	0	0

Leyenda: UE: Unidad experimental; Enr: Enero; Feb: Febrero; Mar: Marzo; Abr: Abril

DISCUSION

Aunque el relave minero Tabla 1, es considerado un medio inhóspito para el crecimiento de plantas, 31 de las semillas (15.5%) lograron germinar. Lo que sería, lo novedoso de este resultado es las combinaciones específicas de sustratos que pueden mejorar la germinación de las semillas de *Trifolium repens*, lo que

tiene implicaciones prácticas en la agricultura, especialmente en áreas donde los relaves son abundantes. Estos resultados concuerdan con Yaulilahua et al., (4), quienes encontraron valores de 15.83, 27.83, 13.17 y 20.75 % relave minero, relave minero+tierra negra, relave minero+compost y relave minero+tierra negra+compost en germinación del *Trifolium*

repens. Mientras que, Ávila y Silveira (22) y Gastón (15) reportaron 75 ± 11.5 %; $40,0 \pm 0,6$; $91,0 \pm 5,9$ % de germinación.

Los resultados de la supervivencia con disminuciones en el tiempo independientemente del tipo de sustrato utilizado Tabla 2, sugiere que el relave minero posee altas concentraciones de metales pesados, que su combinación con diferentes sustratos, aunque mejora la germinación y supervivencia alcanzada se afecta con el tiempo. Esto indica que las condiciones experimentales se vuelven menos propicias para la sobrevivencia de las plantas con el tiempo, a factores estacionales por la disminución de precipitaciones y fluctuaciones de temperatura al coincidir con la estación seca el mes de abril durante el cual la supervivencia es cero o al agotamiento de los recursos en el sustrato por el efecto de los metales pesados aun presentes en el relave, que trae consigo reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando acidez del suelo, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizosfera, dificultan el crecimiento y supervivencia de una cubierta vegetal (23).

Resultados que coinciden con, Gastón (15) en suelos aluviales donde al emplear *Trifolium repens* reportaron que, aunque las plantas extrajeron cobre del suelo, los niveles permanecieron altos con hasta 50 mg.kg. Por su parte, Benigno (24)

encontró que el *Trifolium repens* posee una notable capacidad fitoextractora, variando entre 25% a 75% en tratamientos con relave. Asimismo, Meza (25) determinó que el incremento de relave minero en el sustrato afecta negativamente la capacidad del *Trifolium repens* como fitoestabilizador, aunque esta especie demostró ser un acumulador de plomo con un alto potencial para la extracción de metales pesados. Pedraza (13) notificó que la tasa de crecimiento del *Trifolium repens* depende de factores como la temperatura y el pH para la bioacumulación de metales.

Mientras que, Sharma et al. (26) identificaron al *Trifolium repens* como un agente natural potenciador de la adsorción de metales. Los hallazgos de este estudio concuerdan con investigaciones anteriores que evidencian cómo la inclusión de tierra negra favorecer en alguna medida la supervivencia de las plantas en suelos contaminados por relaves mineros. No obstante, la reducida tasa registrada en el en el actual estudio y en todos los sustratos y sus mezclas contrasta con estudios previos que postulan beneficios del compost en la rehabilitación de suelos degradados. Esta discrepancia sugiere la necesidad de una evaluación más detallada de las condiciones bajo las cuales el compost podría ejercer efectos beneficiosos sobre la supervivencia vegetal en contextos de contaminación por relaves y la caracterización de relave minero para poder profundizar en el empleo de otras alternativas de manejo.

CONCLUSIONES

La mezcla de tierra negra+relave minero mejora la germinación de las semillas y supervivencia de las plantas de *Trifolium repens*, siendo este sustrato de mejor efecto de los evaluados. Aunque para todos los sustratos y sus mezclas el mes de abril es crítico en la supervivencia, aspectos relacionados con el clima por el período seco del año, fluctuaciones de temperatura y nivel de concentración de metales pesados en el relave minero. Estos resultados sugieren que la calidad del sustrato es un factor determinante para la germinación de estas semillas y supervivencia de las plantas; la optimización de las mezclas de sustratos podría ser importante para mejorar la rehabilitación de áreas afectadas por relaves mineros.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guerrero M, Pineda V. Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá Bajo (Tausa). Modelo conceptual. Ciencia e ingeniería neogranadina.2016.; 26(1): 57-74. <https://n9.cl/jinu1>
2. Cuentas M, Velasquez-Viza O, Arizaca-Avalos A, Huisa-Mamani F. Evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque-Puno. Revista de Medio Ambiente y Minería.2019; 4(2): 43-57. <https://n9.cl/z9xie>
3. Saade M. Desarrollo minero y conflictos socioambientales: Los casos de Colombia, México y el Perú. 2013. <https://n9.cl/dcys1>
4. Yaulilahua R, Salas-Contreras W, Sumarriva-Bustinza L, Rojas-Felipe E, Contreras-Fernández J, Palomino-Pastrana P, Cosco-Salguero G. Yield of white clover and orchard grass cultivated in mining passives adding black earth and compost as a substrate. Brazilian Journal of Biology.2024.; 84: e280008. <https://n9.cl/dtdea>
5. Castillo C, Satalaya U, Paredes M, Encalada J, Zamora A, Cuadros A. Pasivos ambientales mineros en el Perú, Primera ed., vol. I. 2021. <https://n9.cl/i6e63r>
6. Buta M, Blaga G, Paulette L, Păcurar I, Roșca S, Borsai O, Negrușier C. Soil reclamation of abandoned mine lands by revegetation in Northwestern part of Transylvania: A 40-Year retrospective study. Sustainability. 2019. 11(12): 3393. <https://n9.cl/vx3g4>
7. Ortiz I, Sanz-García J, Dorado-Valiño M, Villar-Fernández S. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. 2007. <https://n9.cl/1xsmz>
8. Sarmiento G, Febres S. Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. Revista Chapingo. Serie horticultura. 2021.; 27(3): 199-212. <https://n9.cl/m49tc>
9. Delgadillo A, González C, Prieto F, Villagómez J, Acevedo O. Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. Tropical and subtropical agroecosystems. 2011; 14(2), 597-612. <https://n9.cl/zobzy>
10. Mendoza Y, Castro-Echavez F, Marín-Leal J, Hedwig-Behling E. Phytoremediation as an alternative for domestic wastewater treatment from Rihacha City (Colombia). Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. 2016; 39(2): 071-079. <https://n9.cl/gvv4x>
11. Munive R, Loli-Figueroa O, Azabache-Leyton A, Gamarra-Sánchez G. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. Scientia Agropecuaria. 2018; 9(4): 551-560. <https://n9.cl/fv8v1>

- 12.** Caballero-Castaño M, Valero-Valero N, Pantoja-Guerra M. Revisión: posibilidades de bioestimulación con ácidos húmicos en plantas utilizadas para fitorremediación review: viability of humic acids. *Ciencia e Ingeniería*. 2022; 9(1): e6723403. <https://n9.cl/yr58u>
- 13.** Pedraza M. Fitorremediación en cuerpos de agua contaminados por metales pesados. *Innova Biology Sciences: Revista Científica de Biología y Conservación*. 2021; 1(1): 61-78. <https://n9.cl/q5tp7u>
- 14.** Julca-Otiniano A, Meneses-Florián L, Blas-Sevillano R, Bello-Amez S. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*. 2006; 24(1): 49-61. <https://n9.cl/sdc52>
- 15.** Silva G. Evaluación de plantas fitoacumuladoras en suelos aluviales con alto nivel de cobre disponible. 2013. <https://n9.cl/f39kw>
- 16.** Damian M, Gonzáles-Veintimilla F, Quiñones-Paredes P, Terán-Iparraguirre J. Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*. 2018; 25(1): 141-158. <https://n9.cl/sujwv>
- 17.** Murillo S, Mora A, Vásquez C. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 2020; 7(1): 58-68. <https://n9.cl/tdklr>
- 18.** Minas MD Ministerio de Energía y Minas. 2019. <https://n9.cl/1b0dw>
- 19.** MINAM P. Guía para el muestreo de suelos. Ministerio del Ambiente, 2014. 72. <https://n9.cl/kuns>
- 20.** Carrasco M, Chinguel R, Cubas M, Cieza Y. El estudio y la investigación documental: Estrategias metodológicas y herramientas TIC. Gerardo Chunga Chinguel. 2017. <https://n9.cl/45fi5>
- 21.** Gallardo E, Calderon C. Metodología de Investigación: manuales autoformativos interactivo. 2017. <https://n9.cl/bhjfqf>
- 22.** Avila P, Silveira D. Productividad y persistencia de mejoramientos con distintas leguminosas en suelos de sierra. 2006. <https://n9.cl/huyz5>
- 23.** Huaranga-Moreno F, Méndez-García E, Quilcat-León V, Bernui-Paredes F, Costilla-Sánchez N, Huaranga-Arévalo F. Cuantificación de Cu, Pb, A y Cd absorbidos por el "girasol" *Helianthus annuus* L. (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros. *Arnaldoa*. 2022; 29(1): 119-136. <https://n9.cl/klts5>
- 24.** Benigno R. Evaluación de fitoextracción por *chenopodium ambrosioides* y *trifolium repens* de zinc y plomo del relave de la planta concentradora de minerales "Santa Rosa de Jangas", año 2017. 2018. <https://n9.cl/ryxpkv>
- 25.** Meza K. Capacidad fitoestabilizadora del plantago mayor y *trifolium repens* en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de ZN y PB. 2020. <https://n9.cl/b7td0>
- 26.** Sharma S, Singh B, Manchanda V. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015; 22: 946-962. <https://n9.cl/s6lamr>