

Especies bioindicadoras de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad-Perú, 2021

Bioindicator species of contamination by mining tailings in the Samne Sector, La Libertad-Peru, 2021

Félix R. Huaranga Moreno

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Jr. Juan Pablo II S/N,
Trujillo, PERÚ.
fhuaranga@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0002-3557-0690>

Eric F. Rodríguez Rodríguez

Herbarium Truxillense (HUT), Universidad Nacional de Trujillo, Jr. San Martín 392,
Trujillo, PERÚ. erodriguez@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0003-0671-1535>
Eduardo F. Méndez García
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Jr. Juan Pablo II
S/N, Trujillo, PERÚ.
emengar@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0002-9947-2301>

Feliciano Bernuí Paredes

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Jr. Juan Pablo II S/N,
Trujillo, PERÚ.
sabe@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0002-4696-2964>

Recibido: 20-VII-2021; aceptado: 28-X-2021; publicado online: 31-XII-2021; publicado impreso: 31-XII-2021

Resumen

La evaluación de la perturbación ecológica que podría generarse en ambientes terrestres contaminados por metales pesados en el Perú, debido a la presencia de cientos de depósitos de relaves presentes en diversas regiones de nuestro país, requiere del inventario de especies de plantas vasculares indicadoras de contaminación y con capacidad fitorremediadora. En la presente investigación la prospección de la flora se realizó durante la antesis (floración) y fructificación en dos áreas de depósito de relaves mineros en el distrito de Samne, prov. Otuzco, región La Libertad, Perú (Sectores Cushmun y Planta Procesadora de Minerales Virgen de la Puerta). El muestreo de cada taxón vegetal se efectuó en forma no probabilística en cada depósito de relaves. Los resultados nos permitieron identificar a 52 especies de plantas, en la Quebrada Cushmun, se destaca la Clase Equisetopsida con nueve Órdenes y una mayor representación del orden Poales y Caryophyllales; así como de 11 Familias donde la Familia Poaceae es la que más sobresale. Comparativamente en el segundo ambiente, se inventarió una sola Clase (Equisetopsida), 11 Órdenes con una mayor representación del orden Solanales; así como de 13 Familias donde las Familia Asteraceae y Solanaceae son las que más destacan. Se concluye que las perspectivas de uso de esta vegetación natural con fines de fitorremediación es altamente promisoría para nuestro país.

Palabras clave: Metales pesados, Contaminación, Perú, Plantas vasculares, Depósito de relaves, Taxonomía.

Abstract

The evaluation of the ecological disturbance that could be generated in terrestrial environments contaminated by heavy metals in Peru, due to the presence of hundreds of tailings deposits present in various regions of our country, requires an inventory of vascular plant species that indicate contamination and with phytoremediation capacity. In the present investigation, the prospection of the flora was carried out during anthesis (flowering) and fruiting in two areas of mining tailings deposit in the district of Samne, Otuzco province, La Libertad region, Peru (Cushmun and Virgen de la Puerta Minerals Processing Plant Sectors). The sampling of each plant taxon was carried out in a non-probabilistic way in each tailings deposit. The results allowed us to identify 52 species of plants, in the Cushmun Creek, the Equisetopsida Class stands out with nine Orders and a greater representation of the Poales and Caryophyllales order; as well as 11 Families where the Poaceae Family is the one that stands out the most. Comparatively in the second environment, a single Class (Equisetopsida) was inventoried, 11 Orders with a greater representation of the Solanales order; as well as 13 Families where the Asteraceae and Solanaceae families are the ones that stand out the most. It is concluded that the prospects for the use of this natural vegetation for phytoremediation purposes is highly promising for our country.

Keywords: Heavy metals, Pollution, Peru, Vascular plants, Tailings deposit, Taxonomy.

Citación: Huaranga, F.; E. Rodríguez; E. Méndez & F. Bernuí. 2021. Especies bioindicadoras de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad-Perú, 2021. *Arnaldoa* 28(3): 633-650 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310>

Introducción

El aumento continuo de la población humana ocasiona día a día problemas al medio ambiente, con la presencia de sustancias diversas, entre los que se incluyen a la basura, pesticidas, aguas servidas,

gases tóxicos y relaves mineros entre otros, los que vienen ocasionando alteraciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Así por ejemplo, las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la mayor parte de países de nuestro planeta han contaminado el suelo, el aire y el agua

de una gran cantidad de regiones con diferentes elementos potencialmente tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc. El diagnóstico más reciente es que muchos de estos elementos contaminantes se hallan almacenados en unos depósitos conocidos como relaveras (Villalobos *et al.*, 2006; Padmavathiamma & Li, 2007; Chávez, 2009).

Con respecto a la contaminación del ambiente, Cruzado & Alarcón (2010), sostienen que la minería es una de las actividades más importantes por la generación de empleos, la participación activa en el incremento del Producto Bruto Interno y en el ingreso per cápita nacional; sin embargo, tiene un efecto negativo el cual es la generación de los llamados relaves mineros, los mismos que ocasionan diversos impactos ambientales, sociales y económicos. Asimismo, Ederra (1997), indica que los relaves mineros son desechos, subproductos de los procesos mineros que usualmente son una mezcla de tierra, minerales, agua y roca que contienen altas concentraciones de químicos, que al ser residuos provenientes de la actividad minera son por su composición, densidad y materiales peligrosos capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, afectar la salud pública, degradar cuerpos de agua y modificar paisajes naturales.

Ginocchio & León (2011), afirman que muchos pasivos ambientales se generaron en el pasado, puesto que en aquellas épocas de extracción de minerales, no existían leyes y normas ambientales como las hoy vigentes que se encargaran de regularlos. Sin embargo, a pesar de ello, en la actualidad estos pasivos ambientales no son controlados de manera adecuada debido al propio desinterés por parte de organismos reguladores y debido a la falta de conocimiento, experiencia y manejo

de tecnologías que hagan aprovechables dichos pasivos, los cuales se encuentran confinados en unos depósitos llamados relaveras. Es en ese sentido, que se produce la contaminación del medio físico, tal como: la contaminación del agua y del suelo. Asimismo, Chávez (2009) reporta que en los últimos años la puesta en operación de muchos proyectos mineros en el Perú y como es el caso de la Región La Libertad, ha generado que la contaminación de las aguas por relaves mineros se incrementen, porque los ríos, lagos, lagunas y el mar son los receptores finales de las evacuaciones residuales generalmente por metales pesados provocadas por el hombre.

Wilhm (1975), inicialmente con el propósito de buscar una solución ante esta realidad, propuso la utilización de organismos vivos como el plancton como indicadores o bioindicadores de las características del agua en relación con la mayor o menor cantidad de materia orgánica; idea que se generalizó luego a la vegetación terrestre, a partir de la cual las plantas han sido usadas ampliamente como indicadoras de calidad del agua y suelo, en relación con la presencia de elementos químicos diversos; por lo que su evaluación requiere conocer las tolerancias ecológicas, los requerimientos de las especies y sus adaptaciones para resistir contaminantes agudos y crónicos a la vez; y donde para conocer sus particularidades es necesario realizar investigaciones que comprendan el estudio en campo y laboratorio para establecer los límites de tolerancia de una especie a una sustancia o a una mezcla de ellas mediante ensayos de toxicidad (Navarro *et al.*, 2007).

Por tanto, dada la importancia de las especies vegetales como bioindicadores ambientales, Azcón *et al.*, (2000) sostiene que su uso viene dando buenos resultados

a ciertos casos de perturbaciones para evidenciar y monitorear los procesos de cambios de la biosfera. En este sentido las plantas indicadoras según Ellemberg (1974) pueden ser consideradas como indicadores de sostenibilidad; su estudio propuso plantas indicadoras de factores ecológicos basándose en el reconocimiento de la relación íntima entre el medio ambiente de un sitio y las especies y su composición florística que se encuentran en este; así, se han encontrado especies con capacidad de hiperacumular por ejemplo contaminantes como los metales pesados.

Asimismo, Muller *et al.*, (1974), en relación con las plantas bioindicadoras destacan el hecho que a partir de un censo de vegetación se puede obtener un diagnóstico cercano a la realidad al considerar el valor ecológico de cada una de las especies encontradas haciendo notar que una sola especie no puede considerarse como indicadora de las condiciones del medio.

También se reportan los estudios de Lasat (2000), Falcón (2017) y Munive (2018), quienes en sus investigaciones afirman que todas las plantas absorben metales pesados del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, de las características y contenido en metales del suelo; sin embargo, algunos metales no esenciales para los vegetales son absorbidos, trastocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos y a la vez se acumulan en las diferentes partes de la planta. Del mismo modo Manzano (2013), determinó que la característica de acumular elementos químicos como el plomo y cobre en la parte aérea (Tallos y Hojas) en mayor concentración que en la

raíz, es característica de plantas que se usan con fines de indicar el estado ecológico en que se encuentra una determinada área, ya que en esta parte los síntomas de afectación son más fáciles de reconocer.

Sin embargo, son pocos los estudios realizados con plantas adaptadas a las zonas áridas y semiáridas en la fitoextracción de metales pesados; a pesar de que estas regiones de nuestro país comprenden aproximadamente 149857 km², es decir el 12 % de la superficie continental peruana. (MIDAGRI, 2015). En estas regiones existe un reservorio natural de plantas con un potencial poco estudiado. Por ello, el uso de plantas de las zonas áridas y semiáridas, podría ser de gran utilidad en la rehabilitación de suelos contaminados o de almacenamiento de relaves. Se ha demostrado también ampliamente que las micorrizas arbusculares ayudan a enfrentar el estrés e incrementan el crecimiento de las plantas en sitios fuertemente contaminados con metales pesados, por lo que son una herramienta biotecnológica potencial para la restauración de ecosistemas degradados (Gaur & Adholeya, 2004; Hildebrandt *et al.*, 2006).

En la región La Libertad, en cuanto a trabajos relacionados con la identificación de plantas que cumplen la función de bioindicadores de contaminación por relave de minería, destaca el realizado por Roncal (2008), quien identificó plantas indicadoras de contaminación por plomo y cobre en las pozas de tratamiento utilizadas hasta la década de 1990 por la compañía Minera Mache S.A. en el distrito de Samne (Otuzco), donde determino que la especie *N. solanifolia* "Tabaco", *P. australis* "Carricillo", *A. pungens* "Hierba blanca" *L. nodiflora* "turre", *G. sagittatum* "caña brava", *B. salicifolia* "chilco", y *C. virgata* "grama"

presentan una tendencia a ser resistentes y acumular tanto plomo como cobre presentes en el relave.

Dada la importancia y el rol que cumplen algunas especies vegetales como indicadoras de la calidad de los suelos, la presente investigación se orienta a identificar a las plantas que cumplen la función de bioindicadores de contaminación por metales pesados presentes en las relaveras de Samne, sector Cushmun y Área adyacente a la relavera de la Compañía Minera Otuzco; proyectándose a que en un futuro cercano puedan ser utilizadas como plantas fitorremediadoras de metales pesados.

En el Perú no se cuenta con reportes científicos completos al respecto, en consecuencia este trabajo contribuye en la provisión de información científica actual, debido a que nuestro país es eminentemente minero y nuestra geografía incluye regiones altoandinas con gran cantidad de depósitos de relaves, los que representan áreas de alto nivel potencial de perturbación ambiental futura.

Materiales y métodos

Localización del área de investigación

La presente investigación se realizó en la relavera de la quebrada Cushmun del sector Samne con coordenadas geográficas 7°59'48.64" y 78°41'19.10" longitud oeste; así como en el área circundante a la relavera de la planta procesadora de Minerales Virgen de la Puerta, Samne, con coordenadas 7°59'30.13" " latitud sur y 78°41'1.44" ' longitud oeste (Figuras 1 y 2); con alto contenido de metales pesados y en donde crecen una serie de plantas vasculares tolerantes a los mismos (Figuras 3 y 4).

Metodología para el estudio de la Flora:

La prospección de la flora se realizó durante la antesis (floración) y fructificación en dos áreas de depósito de relaves mineros en el distrito de Samne, prov. Otuzco, región La Libertad, Perú (Sectores Cushmun y Planta Procesadora de Minerales Virgen de la Puerta). El muestreo de cada taxón vegetal se efectuó en forma no probabilística en cada depósito de relaves. El proceso de colección y herborización se realizó siguiendo la metodología y técnicas convencionales (Rodríguez & Rojas, 2006). La determinación taxonómica se ejecutó en el Herbarium Truxillense (HUT) de la Universidad Nacional de Trujillo (Figura 5), con ayuda de bibliografía especializada referida a descripciones de los géneros y especies, claves taxonómicas dicotómicas basadas en los caracteres exomorfológicos y de hábito o forma de vida (Sagástegui & Leiva, 1993; Rodríguez *et al.*, 2017), y por comparación morfológica con los ejemplares existentes en el mismo herbario. La clasificación taxonómica seguida es la de Chase & Raveal (2009) y la actualización a nivel de familias de las angiospermas es según Angiosperm Phylogeny Group (APG IV, 2016). Además, se tomaron muestras de material de relave a una profundidad de 30 cm de los dos depósitos de relaves motivo de estudio; y luego con la correspondiente cadena de custodia fueron enviadas a Laboratorios AGQ - Lima, para la determinación analítica de 26 elementos químicos mediante ICP de Masas.

Resultados

Los resultados contenidos en las Tablas 1 y 2, nos permiten identificar a 52 especies de plantas que se desarrollan normalmente en el material de relave de la relavera de la quebrada Cusmun (Samne) y área circundante a la Planta procesadora de

Minerales Virgen de la Puerta (Samne).

En el caso de la Quebrada Cushmun (Tabla 1), se presentó taxonómicamente una Clase (Equisetopsida), nueve Ordenes con una mayor representación del orden Poales y Caryophyllales; así como 11 Familias donde la Familia Poaceae es la que más destaca. Se observa también que en total se inventariaron 25 especies.

Comparativamente, en el área circundante a la planta procesadora de minerales Virgen de la Puerta (Tabla 2), se inventarió taxonómicamente también una sola Clase (Equisetopsida); 11 Ordenes con una mayor representación del orden Solanales y Asterales; así como de 13 Familias donde la Familia Asteraceae es la

que más destaca. Se observa también que en total se inventariaron 27 especies.

Respecto a los análisis de metales presentes en las áreas de Quebrada Cushmun y área circundante a planta procesadora de minerales Virgen de la Puerta se observan en la Tabla 3. De los 26 elementos determinados, los que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para suelos son 13, especialmente en los depósitos de relaves de la quebrada Cushmun; mientras que en el caso del área circundante de la compañía minera Virgen de la Puerta en forma comparativa, sus valores están por debajo de los límites máximos permisibles.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica, nombres vulgares y formas de vida de la Flora existente en el depósito de relaves de quebrada Cushmun, Distrito de Samne, prov. Otuzco, región La Libertad, Perú, 2021.

No	CLASE	ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	FORMA DE VIDA
1	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Alternanthera halimifolia</i> (Lam.) Standl. ex Pittier	hierba blanca	Hierba
2	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Alternanthera pubiflora</i> (Benth.) Kuntze	hierba blanca grande	Hierba
3	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Amarantillus hybridus</i> L.	yuyo	Hierba
4	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Dysphanhia ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clements	paico	Hierba
5	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	cadillo, amor seco	Hierba
6	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	chilco macho	Arbusto
7	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	cerrija	Hierba
8	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Spilanthes leiocarpa</i> DC.	turre macho	Hierba
9	Equisetopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Acalypha infesta</i> Poepp.	acalifa	Hierba
10	Equisetopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hypericifolia</i> L.	lecherita	Hierba
11	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	frejol mantecoso, frejol de palo	Sufrutice/Subarbusto
12	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	<i>Sida spinosa</i> L.	sida	Hierba
13	Equisetopsida	Caryophyllales	Nyctaginaceae	<i>Mirabilis viscosa</i> Cav.	pega pega	Hierba
14	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Antephora hermaphrodita</i> (L.) Kuntze	calaverita	Hierba
15	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Arundo donax</i> L.	carrizo	Hierba/Perenne
16	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Chloris gayana</i> Kunth	grama	Hierba

17	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P.Beauv.	caña brava	Hierba/Perenne
18	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Paspalum racemosum</i> Lam.	manga larga	Hierba
19	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Plinagmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	carricillo	Hierba/Perenne
20	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Setaria verticillata</i> (L.) P. Beauv.	grama	Hierba
21	Equisetopsida	Caryophyllales	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	verdolaga	Hierba
22	Equisetopsida	Polypodiales	Pteridaceae	<i>Pityrogramma calomelanos</i> var. <i>austroramericana</i> (Domin) Farw.	helecho	Hierba
23	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Nicotiana glutinosa</i> L.	tabaco silvestre	Sufrutice/Subarbusto
24	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	tomate	Hierba
25	Equisetopsida	Lamiales	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i> Kunth	verbena	Hierba

Tabla 2. Clasificación Taxonómica, nombres vulgares y formas de vida de la Flora existente en el área circundante de planta de procesamiento de minerales Virgen de la Puerta, distrito de Samne, prov. Otuzco, región La Libertad, Perú, 2021.

No	CLASE	ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VUL-GAR	FORMA DE VIDA
1	Equisetopsida	Lamiales	Acanthaceae	<i>Dicliptera peruviana</i> (Lam.) Juss.	hierba de la ternera	Hierba
2	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Chenopodium murale</i> (L.) S. Fuentes-B., Uotila & Borsch	hierba del gallinazo	Hierba
3	Equisetopsida	Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moquin		Hierba
4	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	cadillo, amor seco	Hierba
5	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Galinoga parviflora</i> Cav.		Hierba
6	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Heterosperma diversifolium</i> Kunth	cadillo	Hierba
7	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	cerraja	Hierba
8	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Wedelia latifolia</i> DC.	suncho	Sufrutice/Subar-busto
9	Equisetopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Pseudogymoxys cordifolia</i> (Cass.) Cabrera	san juan	Sufrutice/Subar-busto
10	Equisetopsida	Solanales	Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	campanilla	Hierba
11	Equisetopsida	Solanales	Convolvulaceae	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth	campanilla	Hierba
12	Equisetopsida	Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	higuerilla	Arbusto
13	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	espino	Árbol
14	Equisetopsida	Fabales	Fabaceae	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	tapa tapa	SufruticeSubar-busto
15	Equisetopsida	Laurales	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	palta	Árbol
16	Equisetopsida	Malvales	Malvaceae	<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	angosacha	Sufrutice/Subar-busto

17	Equisetopsida	Ranunculales	Papaveraceae	<i>Argemone subfusiformis</i> G.B. Ownbey	cardo santo	Hierba
18	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Chloris gayana</i> Kunth	grama	Hierba
19	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	grama dulce	Hierba
20	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Paspalum racemosum</i> Lam.	manga larga	Hierba
21	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schlecht.	shirac	Arbusto
22	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i> L.	chamico	Sufrutice/Subar-busto
23	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Nicotiana glutinosa</i> L.	tabaco silvestre	Sufrutice/Subar-busto
24	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Solanum americanum</i> Mill.	hierba mora	Hierba
25	Equisetopsida	Solanales	Solanaceae	<i>Solanum arcanum</i> Peralta	tomatillo	Hierba
26	Equisetopsida	Lamiales	Verbenaceae	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene	turre hembra	Hierba
27	Equisetopsida	Zygophyllales	Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i> L.	cachito	Hierba

Tabla 3. Resultados del análisis químico de metales en el depósito de relaves de Quebrada Cushman y área circundante a la planta procesadora de minerales Virgen de la Puerta de la zona de Samne, La Libertad-Perú, 2021.

METAL	UNIDAD	QUEBRADA CUSHMUN	ÁREA MINERA VIRGEN DE LA PUERTA
Aluminio	mg/kg	3582,00	0.1600
Antimonio	mg/kg	22,17	0.0030
Cadmio	mg/kg	8,80	0.0008
Arsenico	mg/kg	1874,00	0.0100
Bromo	mg/kg	38,84	0.0230
Bismuto	mg/kg	49,72	0.0000
Boro	mg/kg	30,26	0.0120
Cobre	mg/kg	752,00	0.0300
Hierro	mg/kg	54825,00	0.0100
Magnesio	mg/kg	1119,00	0.3000
Manganeso	mg/kg	344,00	1.0000
Mercurio	mg/kg	120,00	0.0100
Plata	mg/kg	28,19	0.0020
Plomo	mg/kg	3416,00	0.0020
Zinc	mg/kg	697,00	0.1400

Discusión

Millones (1995), sostiene que en condiciones naturales muchos vegetales se desarrollan en ambientes afectados por una diversidad de contaminantes como es el caso de los metales pesados, los que comúnmente se encuentran almacenados en los llamados depósitos de relaves. Sin embargo, existen algunos vegetales que tienen la particularidad de tolerar y por tanto desarrollarse satisfactoriamente en este tipo de ambientes, lo cual tiene relación con aspectos fisiológicos y bioquímicos de sus células y tejidos (López & López, 1990; Salinas, 1993).

De acuerdo a Huaranga *et al.*, (2012), los depósitos de relaves son fuentes potenciales de perturbación ambiental sobre suelos, aguas y aire. El impacto que generan de acuerdo a su volumen de almacenamiento, concentración metálica y a la naturaleza química del mineral explotado; o bien es un polimetálico como en el caso de las relaveras

de Samne, o depósito de relaves auríferos como Cajamarca; hecho que es corroborado por Ginnochio y León (2011) para la minería de Chile y Ayamamani (2019) para el área de la Rinconada y Ananea en la región Puno (Perú).

En estos ambientes generados por el hombre con altos niveles de contaminación principalmente por metales pesados como se observa en la Tabla 3, hoy se desarrollan una serie de vegetales adaptados desde su germinación, estado juvenil, floración y fructificación como los reportados en la Tabla 1, lo que demuestra su alta respuesta a estas condiciones ecológicas de supervivencia en situaciones adversas, permitiendo ser catalogadas como plantas bioindicadoras de contaminación por elementos químicos.

Desde la antigüedad se conocía que todas las plantas absorben metales del

suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido en metales del suelo. Baker (1981); Barceló *et al.*, (2003), sostienen que las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea; mientras que otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados.

Por otro lado, para este tipo de investigaciones las plantas vasculares han sido recomendadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA), debido a su buena sensibilidad, en comparación con semillas de otras especies de plantas terrestres (Wang, 1991). Esta sensibilidad a los metales pesados varía considerablemente a través de reinos, clases, órdenes y familias (Rosa *et al.*, 1999). Las diferentes respuestas de las plantas vasculares a metales pesados pueden ser atribuidas también a factores genéticos y fisiológicos (Calow, 1993).

Este desarrollo casi natural de estas plantas, está asociada a que el ingreso de los contaminantes al vegetal se produce por diferencias de presión como lo sostiene Chaney (2000), o como lo afirma Reigosa (2003) donde el contaminante ingresa vía raíz y por circulación alcanza el tallo y hojas; a lo que se suma la capacidad de tolerar y acumular altas cantidades de metales pesados, hecho que representaría una alternativa de solución ecológica de tratamiento de estos materiales de relaves

a bajo costo.

Sobre el particular, Reigosa (2003), refiere que en la estructura química de la raíz de estas plantas tolerantes contienen el aminoácido histidina el cual tiene la propiedad de ligarse por ejemplo al plomo y cobre, facilitando de esta manera el transporte y acumulación de estos elementos químicos en la parte aérea de la planta.

Asimismo, Ramírez (1999) para evaluar la respuestas de las plantas a los estímulos externos para evaluar su condición ecológica con respecto a los contaminantes químicos como los metales pesados, propone una primera escala como la condición euritípica que describe a plantas muy resistentes o resistentes a altas concentraciones de estos contaminantes y por tanto viven vigorosamente sin mostrar síntomas de ser afectados; en cambio en la segunda escala se encuentran las plantas estenotípicas tolerantes que son aquellas que viven en suelos con bajas concentraciones de contaminantes.

Roncal (2008), en su investigación sobre identificación de bioindicadores vegetales en las pozas de relaves de Samne, encuentra siete especies de vegetales presentes en estos ambientes; en cambio en la presente investigación en el mismo ambiente se ha encontrado 25 especies, mientras que en el área adyacente a la compañía procesadora de minerales Virgen de la Puerta de Samne, un área de incipiente niveles de contaminación se encontraron 27 especies de vegetales

En forma particular, Calow (1993) señala la potencialidad del uso de una serie de especies vegetales representantes de cuatro familias: Liliaceae, Chenopodiaceae, Poaceae y Brassicaceae para evaluar la toxicidad y el riesgo de sustancias químicas

peligrosas en el ambiente; mientras que en la presente investigación se han encontrado 10 familias y 43 potenciales. Sin embargo, el efecto de metales pesados sobre plantas vasculares no se conoce bien (Lerda, 1992; Barone *et al.*, 1997; Rosa *et al.*, 1999).

Conclusiones

En el área circundante a la compañía minera Virgen de la Puerta la diversidad de taxas fue mayor, posiblemente debido a la contaminación incipiente.

En el depósito de relaves de quebrada Cushmun los taxas determinados de plantas, indican su alta tolerancia a contaminantes químicos como los metales pesados.

De los 26 elementos químicos analizados en el material de relave de quebrada Cushmun, 13 se encuentran por encima de los límites permisibles para suelos de acuerdo a la normatividad vigente, destacando el hierro (54825 mg/kg), aluminio (3582 mg/kg), plomo (3416 mg/kg) y arsenico (1874 mg/kg).

Se recomienda implementar programas de remediación de suelos, mediante biorremediación, fitorremediación, bioadsorción y otros métodos para minimizar el contenido de metales pesados en el material de relave.

Agradecimientos

A la Dirección del Herbarium Truxillensis de la Universidad Nacional de Trujillo por su apoyo en la identificación taxonómica de las especies inventariadas en la presente investigación.

Al Sr. Vicente Zavaleta Gutierrez, del Comité de Usuarios del área de las Relaveras de Samne.

Contribución de los autores

F.H., E.R, E.M. & F.B.: Los autores realizaron las actividades de obtención del material biológico, determinación taxonómica del material vegetal, experimentación, la redacción del manuscrito y aprobación del mismo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada

- Álvarez, C.** 2009. Problemática de los pasivos ambientales mineros en la región La Libertad. Edit. Gobierno Regional La Libertad. 26 pp.
- Ayamamani, J.** 2019. Vigilancia de lo contaminación de suelos por relaves mineros en la minería artesanal e informal de la región Puno (Rinconada – Ananea). Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de Ingeniero de Minas. Univ. Nac. del Altiplano, Puno. 21 pp.
- Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV).** 2016. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society 181 (1): 1–20. doi:10.1111/boj.12385.
- Azcón, T.; T. Bleto & W. Talón.** 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Edit. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España.
- Barone, L.; C. Shih & B. Wasserman.** 1997. Mercury-induced conformational changes and identification of conserved surface loops in plasma membrane aquaporins from higher plants. Topology of PMIP31 from *Beta vulgaris* L. J. Biol. Chem. 272:30672-30677.
- Calow, P.** 1993. Handbook of ecotoxicology. Vol. I. 478 p. Blackwell Science Ltd., London, England. Vol. I. 478 pp
- Chaney, R.** 2000. Zinc phytotoxicity in: Zinc soil iam plañis. AD. Robson (ed) Kluwer Academic. Pu. Dordrech. The Necher – land.
- Chase, M. & J. Reveal.** 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. Botanical Journal of the Linnean Society. 161: 122–127.
- Cruzado, E. & F. Bravo.** 2010. Impacto de los relaves mineros en el Perú. Congreso de la República,

- Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria. Lima, Perú. 17 pp.
- Ederra, L.** 1997. Botánica ambiental: Las plantas y el equilibrio ecológico. 2da. Edic. Edit. Universidad de Navarra. Pamplona, España.
- Elleberg, B.** 1974. Indicators values of vascular plants in Central Europe. Scripta Geobot. Vol. 2.
- Falcón, J.** 2017. Fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados con *Zea mays* L en la estación experimental el Mantaro – Juninen el año 2016. Tesis para Optar el Grado de Magister Scientiae En Ingeniería Ambiental. Univ. Nac. Del Centro del Perú- Huancayo, Perú. 62 pp.
- Gaur, A. & A. Adholeya.** 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Science 86(4):528-534.
- Ginocchio, R. & P. León.** 2011. Fitoestabilización de depósito de relaves en Chile. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica e Investigaciones Agropecuarias. Edit. Andros. Chile. 81 pp.
- Hildebrandt, U.; M. Regvar & H. Bothe.** 2007. Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. Phytochemistry 68(1): 139-146.
- Huaranga, F.; E. Méndez; V. Quilcat & F. Huaranga.** 2012. Contaminación por metales pesados en la cuenca del río Moche, 1980 – 2010, La libertad, Perú. Scientia Agropecuaria 3(3): 235 – 247.
- Iannacone, J. & L. Alvaríno.** 2005. Efecto ecológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. Agricultura Técnica 65(2): 198 -203.
- Lasat, M.** 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advanced of Science. Environmental Science and Engineering Fellow. 33 pp.
- Lerda, D.** 1992. The effect of lead on *Allium cepa* L. Mutat. Res. 281:89-92.
- López-Ritas, J. & J. López-Mélida.** 1990. Diagnóstico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio. Edit. Mundi Prensa. Barcelona, España.
- Manzano, R.** 2013. Selección de plantas y enmiendas para la recuperación de suelos de minas contaminados con arsenico y metales pesados. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Madrid. Madrid, España. 474 pp.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO (MIDAGRI).** 2015. Perfil ambiental del Perú. Edit. Midagri, Perú.
- Millones, E.** 1995. Seguimiento y evaluación ambiental en el manejo de cuencas. 3er. Encuentro de manejo de cuencas. Cajamarca, Perú.
- Mueller, H.; G. Dombois & R. Elleberg.** 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Edit. John Wiley & Sons. New York.
- Munive, V.** 2018. Recuperación de suelos degradados por contaminación por metales pesados en el Valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. Tesis para Optar del Grado de Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales. Univ. Nac., Agraria La Molina. Lima, Perú. 147 pp.
- Ramírez, A.** 1999. Ecología Aplicada. Fundación Universitaria de Bogotá, Santa Fe. Colombia.
- Reigosa, M.** 2003. La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. Edit. Paramingo S.A. Barcelona. España.
- Rodríguez, E. & R. Rojas.** 2006. El Herbario: Administración y manejo de colecciones botánicas. 2da. Edic. Edit. por R. Vásquez M., Missouri Botanical Garden, Perú. 72 pp.
- Rodríguez, E.; A. Sagástegui; E. Alvítez; L. Pollack & M. Mora.** 2017. Manual de la flora vascular del Complejo Arqueológico Chan Chan (Trujillo, La Libertad, Perú). Sagasteguiana 5(2): 69-230.
- Roncal, C.** 2008. Identificación de bioindicadores vegetales de la contaminación por plomo y cobre en suelos de las pozas de tratamiento de relave minero en la microcuenca del sector Samne. Tesis para Optar el Grado de Bachiller en Ciencias Biológicas. Univ. Nac. de Trujillo. 48 pp.
- Rosa, C.; M. Sierra & C. Radetski.** 1999. Use of plant tests in the evaluation of textile effluent toxicity. Ecotoxicol. Environ. Res. 2:56-61.
- Sagástegui, A. & S. Leiva.** 1993. Flora invasora de los cultivos del Perú. Edit. Libertad. Trujillo, Perú. 539 pp.
- Salinas, J.** 1993. Minería y gestión ambiental en Bolivia. Secretaría De Medio Ambiente. Edit. EDOBIL. La Paz, Bolivia.
- Wang, W.** 1991. Literature review on higher plants for toxicity testing. Water Air Soil Pollut. 59:381-400.
- Wilhm, R.** 1975. Biological indicators of pollution, en WHITTON (Edit.). River Ecology. Blackwell Sci. Publ. Oxford.



Área de estudio, Samne - Perú
Plano de Ubicación

Fig. 1. Plano de ubicación del depósito de relaves de quebrada Cushman y área circundante planta procesadora de minerales Virgen de la Puerta, provincia Otuzco, región La Libertad, Perú.



Fig. 2. Ubicación geográfica de las relaveras de la quebrada Cushman y de la planta procesadora de Minerales Virgen de la Puerta, sector Samne, provincia Otuzco, región La Libertad, Perú (modificado de Google Earth, 2021).



Fig. 3. Una vista del depósito de relaves de quebrada Cushmun del sector Samne, la Libertad- Perú, donde cientos de miles de toneladas de relave con alto contenido de metales pesados se encuentran casi en contacto con las aguas del río Moche.



Fig. 4. Depósito de relaves de quebrada Cushmun, sector Samne, la Libertad-Perú, donde se observa el crecimiento de una serie de plantas vasculares tolerantes a altos contenidos de metales pesados.



Fig. 5. Colecta de plantas de los depósitos de relaves de quebrada Cushmun, sector Samne, la Libertad-Perú, para luego ser trasladados al Herbarium Truxillense (HUT) para su identificación taxonómica.