

Phytoremediation capacity of heavy metals in emerging native plant species in mining liabilities of Sinchao-Peru

¹ Ing. Lorena Walter-Villegas, Ing.¹ Nancy Dávila-Mego,^{1,2} Msc Blgo Marco Sanchez-Peña, ² Msc. Ing. Manuel Roncal- Rabanal

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. ² Universidad Nacional de Cajamarca. marco.sanchez@upn.edu.pe.

Resumen– Se determinaron las especies de flora herbácea silvestre con capacidad fitorremediadora de la zona de pasivos mineros el Sinchao, ubicado en el distrito de Chugur, Provincia de Hualgayoc-Peru, donde se realizaron los análisis de concentración de metales pesados en las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus* seleccionadas por su alto valor de importancia en la zona, posteriormente se calculó el Factor de Traslocación y Factor de Bioconcentración, lo que permitió indicar si la planta es fitoestabilizadora o fitoextractora de aluminio, arsénico, plomo, cromo, cobre, cadmio, magnesio, manganeso, zinc, estroncio, antimonio, talio, hierro, mercurio, níquel y estaño. En la investigación se identificó que la especie *Paspalum bonplandianum* acumula la mayor cantidad de metales (mg/kg), como el aluminio (2844.6), mercurio (0.3), antimonio (13), estaño (1.4), zinc (760.2), cromo (3.86) y níquel (3.59). Asimismo, la mayor concentración de metales pesados se almacena en la parte de la raíz de todas las especies, a excepción de la *Lachemilla orbiculata* que se almacena en la parte aérea. Finalmente, mediante los factores de traslocación (TF) y bioconcentración (BCF) se estableció que la especie *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y el *Juncus conglomeratus* serían especies fitoextractoras de Mg y Mn; igualmente, *Lachemilla orbiculata* también sería fitoextractora del Sr y el Zn. Por otro lado, *Calamagrostis tarmensis* se podría aplicar en técnicas de fitoestabilización para el Ti, así como *Paspalum bonplandianum* para el Sb, Zn y Cr, la especie *Carex pichinchensis* para Zn, la especie *Lachemilla orbiculata* para el Cd y Mn y finalmente el *Juncus conglomeratus* para el Cd, Cr y Zn.

Palabras clave: Fitorremediación, Factor de Traslocación, Factor de Bioconcentración, fitoestabilización y fitoextracción

Abstract– We determined the species of wild herbaceous flora with phytoremediation capacity in the area of Sinchao mining liabilities, located in the district of Chugur, Province of Hualgayoc, where we conducted the analysis of the concentration of metals in the species *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* and *Juncus conglomeratus* selected for their high importance in the area, *Lachemilla orbiculata* and *Juncus conglomeratus*, selected for their high importance in the area. Subsequently, the Translocation Factor and Bioconcentration Factor were calculated, which indicated whether the plant is a phytostabilizer or phytoextractor of aluminum, arsenic, lead, chromium, copper, cadmium, magnesium, manganese, zinc, strontium, antimony, thallium, iron, mercury, nickel and tin. The research identified that the species *Paspalum bonplandianum* accumulates the highest amount of metals (mg/kg), such as aluminum (2844.6), mercury (0.3), antimony (13), tin (1.4), zinc

(760.2), chromium (3.86) and nickel (3.59). Likewise, the highest concentration of heavy metals is stored in the root part of all species, with the exception of *Lachemilla orbiculata* which is stored in the aerial part. Finally, by means of the translocation factors (TF) and bioconcentration factors (BCF) it was established that the species *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* and *Juncus conglomeratus* would be phytoextractive species of Mg and Mn; likewise, *Lachemilla orbiculata* would also be phytoextractive of Sr and Zn. On the other hand, *Calamagrostis tarmensis* could be applied in phytostabilization techniques for Ti, as well as *Paspalum bonplandianum* for Sb, Zn and Cr, the species *Carex pichinchensis* for Zn, the species *Lachemilla orbiculata* for Cd and Mn and finally *Juncus conglomeratus* for Cd, Cr and Zn.

Keywords: Phytoremediation, translocation factor, bioconcentration factor, phytostabilization and phytoextraction

I. INTRODUCCIÓN

El departamento de Cajamarca-Perú viene presentando distintos problemas ambientales ocasionados principalmente por la minería, tal es el caso del centro minero El Sinchao ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, en el cual se observa la presencia de pasivos ambientales mineros como lo indica Autoridad Nacional del Agua [1], quien señala que dicho paraje incluye 07 socavones, 02 zonas en las que se encuentran grandes cantidades de tierra (Desmontes), 01 cancha de relave; asimismo, la zona central cuenta con una profunda depresión conocida con el nombre de Tajo María Eugenia, los mismos que se encuentran en estado de abandono y sin remediación. Por otro lado, se observan los restos de una planta de procesamiento abandonada.

En la zona del Sinchao existen altos niveles de contaminación, así lo afirma el informe emitido por la Autoridad Local del Agua [1] donde se precisa que en dicho lugar se observa la crianza de ganado vacuno el cual se alimenta de los escasos pastos que crecen en este paraje y beben del agua que discurrir en las pequeñas corrientes y drenes que fluyen en la zona, también indicaron que la recolección de leche de este ganado es destinada a la elaboración de quesos y de otros productos lácteos. Por otro lado, se señala que los suelos poseen altas concentraciones de azufre, así como a la presencia de diversas zonas en las que la vegetación no se desarrolla con normalidad.

Ante esta problemática se ha visto necesario realizar una identificación de las especies de flora herbácea silvestre que se desarrollan en estos suelos contaminados por metales pesados,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.53>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

para ello se realizaron muestreos de suelo y vegetación herbácea ubicadas en la zona de pasivos mineros El Sinchao pertenecientes al distrito de Chugur.

Este estudio abordó la identificación de especies herbáceas más abundantes y el reconocimiento de especies vegetales capaces de acumular metales pesados en alguna parte de su estructura. Finalmente, el estudio concluye con la propuesta del uso de las especies para que sean aplicables en técnicas de fitorremediación en zonas alto andinas o con características climáticas similares, así como información para la realización de estudios futuros en la zona.

La presente investigación se realizó con el fin de identificar especies de flora herbácea silvestre en la zona El Sinchao, las cuales se desarrollan en suelos contaminados por metales pesados en la cabecera de cuenca del Chancay -Lambayeque. En los años 2012 y 2013, se ejecutó el plan de Gestión de los recursos Hídricos en la cuenca de Chancay – Lambayeque, donde se señala que “las aguas de peor calidad se localizaron en la Quebrada Colorada, sobre todo en su parte inicial, con una estación de control próxima a los pasivos ambientales del Sinchao” esta información de La Autoridad Nacional del Agua [2], permitió llenar el vacío de estudios de flora en el lugar, puesto que no se han realizado investigaciones de ello en la zona. Como lo especifica Jara [3] en su investigación el impacto de las actividades mineras en zonas altoandinas genera grandes impactos en la salud de las personas y los ecosistemas.

Asimismo, la investigación pretende generar información valiosa en beneficio de los agricultores y ganaderos de la zona, puesto que se identificaron las especies de flora herbácea silvestre que son comercializadas o que sirven de alimento para ganado vacuno y de auquénidos, con esto se pretende brindar información a la población sobre los procesos de acumulación de metales pesados en las cadenas tróficas locales. Por otro lado, las especies vegetativas identificadas en la zona, podrían ser utilizadas posteriormente en procesos de fitorremediación, al ser sembradas en zonas con las mismas condiciones climáticas, puesto que se adaptan fácilmente, este objetivo coincide con los trabajos realizados por Gonzales [4] en el norte de Chile quien buscaba especies metalófitas en áreas aledañas a zonas mineras.

Al finalizar el estudio mediante el coeficiente de correlación de Pearson se logró determinar la relación entre la concentración de metales entre el suelo y las plantas. Asimismo, se calculó el Factor de Traslocación y Factor de Bioconcentración [5], lo que permitió indicar si la planta es fitoestabilizadora o fitoextractora de aluminio, arsénico, plomo, cromo, cobre, cadmio, magnesio, manganeso, zinc, estroncio, antimonio, talio, hierro, mercurio, níquel y estaño. Por otro lado, se obtuvo una base de datos de la zona Las Gradadas (área no contaminada), la cual contribuyó como referencia para comparar la acumulación de las plantas tanto en una zona con pasivos y otra zona sin alteraciones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación: El área de estudio se encuentra ubicada en la parte de la cuenca Chancay -Lambayeque, la cual pertenece al norte del Perú, entre los departamentos de Lambayeque y Cajamarca. Cuenta con un área aproximada de 4060 km² hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Finalmente, se realizó una primera visita al área de estudio, donde se obtuvieron las coordenadas para establecer las estaciones y puntos de muestro (Tabla N°1)

TABLA I
COORDENADAS DE LA ZONA DE ESTUDIO EL SINCHAO

ESTACIONES	COORDENADAS		ALTURA (m.s.n.m.)
	ESTE	NORTE	
Estación N° 1	758 928	9 256 179	3 531
Estación N° 2	758 269	9 256 634	3 774
Estación N° 3	757 891	9 257 216	3 748
Estación N° 4	757 534	9 257 412	3 739
Estación N° 5	757 652	9 257 432	3 743

Con el objetivo de la identificación de flora herbácea silvestre, se optó por la utilización de la técnica aleatoria estratificada, según Ministerio del Ambiente [6] para la recolección de muestras; donde se definieron cinco estaciones, creyendo conveniente la toma de tres parcelas por estación. Posteriormente se obtuvieron las coordenadas por punto de muestro; asimismo, se usó el método del metro cuadrado, el cual consiste en realizar pequeñas parcelas de dimensiones fijas, en donde las unidades muestrales están constituidas por cuadrados de 1 m x 1 m tal como se indica en la Guía de inventario de la flora y vegetación Ministerio del Ambiente [6].

Posteriormente, se procedió a la elaboración de un herbario, el cual permitió la recolección, secado (durante 7 días), conservación e identificación de las especies, procediendo luego a la elaboración de un inventario de los tipos de vegetación encontrados, donde la información fue obtenida mediante un conteo directo y se ejecutó una tabla de datos incluyendo el nombre de la especie y el número de individuos encontrados en cada parcela. Las plantas fueron clasificadas en el Herbario de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Luego de la elaboración del herbario, se procedió a la determinación del valor de importancia de cada una de las especies de flora herbácea silvestre encontradas en cada parcela del área de estudio, éste se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa, la densidad relativa y la dominancia relativa, a continuación, se definen las variables implicadas en la determinación del Valor de Importancia

Técnicas de recolección de Datos:

Para la recolección de la flora herbácea se tuvo en cuenta los resultados de los cálculos realizados para determinar el valor de importancia, donde se seleccionaron cinco especies con el valor más alto, seguidamente se realizó la recolección en las

diferentes parcelas de cada estación establecidas para la zona contaminada por los pasivos mineros en El Sinchao y la zona no contaminada Las Gradadas, por lo que se vio conveniente examinar tanto la parte aérea como la raíz de cada especie, con el fin de determinar donde se acumulaban los metales pesados. Mientras que, para la obtención de las muestras de suelo, se tuvo en cuenta el tipo de muestreo de Nivel de Fondo (MF), el cual según la Guía para el Muestreo de Suelos [7] ayuda a determinar la concentración de los químicos regulados por los estándares de calidad ambiental peruanos para suelo (ECA) en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides. Por otro lado, se consideró la aplicación de la técnica de muestreo para muestras superficiales, la cual es descrita en la Guía para el Muestreo de suelos por el Ministerio del Ambiente [7], donde se indica que se debe tener en cuenta una profundidad de aproximadamente un metro, considerando la realización de hoyos, lo cual es permisible para la toma de muestras compuestas. Sin embargo, se realizaron hoyos de 20 cm por tratarse de especies de flora herbácea, cabe precisar que para la obtención de la muestra compuesta se llevó a cabo la mezcla de suelos de los diferentes puntos de la zona contaminada y no contaminada.

Con la finalidad de obtener una muestra representativa, se sometió a partición el volumen del suelo, para ello se cuarteó la muestra mezclada y se repitió el proceso hasta que se llegó a la cantidad de material necesario, que en este caso fue de 350 gr solicitado por el laboratorio a realizar los análisis.

Métodos y procedimientos de análisis de datos

Se hizo uso de la medida estadística denominada correlación lineal, dado que permite identificar la relación existente entre variables, en la investigación se cuenta con dos variables tales como: Concentración de metales pesados en suelo y concentración de metales pesados en plantas. Asimismo, se hizo uso de diagramas de esparcimiento, el cual según Ávila [8] puede tomar diferentes formas; de la misma manera, el autor señala que este diagrama constituye el primer paso para investigar la relación existente entre dos variables.

Para el análisis de concentración de metales en suelos y tejido vegetal se realizaron análisis químicos, los cuales fueron realizados por el laboratorio de Servicios Analíticos Generales, el cual se encuentra acreditado por INACAL-DA bajo la norma NTP - ISO / IEC 17025:2006, con registro N° LE-047. Asimismo dicha empresa utilizó los siguientes métodos:

Para Suelo:

EPA - Método 200.7 Revisión 4.4 (1994). Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos. Revisión 2 de diciembre De 1996 / Determinación De Metales Y Elementos De Rastreo En Agua Y Residuos Mediante Plasma Inductivamente Acoplado - Espectrometría De Emisión Atómica,

Para tejido vegetal: Método EPA 200.3, Rev.1, abril.1991. Metales, Total Recuperable En Tejidos Biológicos / Método EPA 200.7, Rev.4.4. Versión Emmc 1994.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 63 especies de flora herbácea silvestre a nivel de las 15 parcelas. Luego de ello se tomó en cuenta las cuatro especies con mayor valor de importancia (Ver Figura N°1), las cuales se detallan a continuación:

TABLA II
ESPECIES DE FLORA HERBÁCEA SILVESTRE CON MAYOR VALOR DE IMPORTANCIA

Especie	Valor de Importancia
<i>Calamagrostis tarmensis</i> Pilg.	30.85
<i>Paspalum bonplandianum</i> Flüggé	17.92
<i>Carex pichinchensis</i> Kunth	19.82
<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav) Rydb.	35.62
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	3.10

Asimismo, se vio conveniente incluir al estudio la planta *Juncus Conglomeratus* L, dado que Peña [9] en su estudio de Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconapsittacorum psittacorum* (*Heliconiaceae*) señalan que “La especie de la familia *Brassicaceae*, y plantas acuáticas del género *Juncus*, serían especies con gran potencial de captación de metales pesados”, por lo que al ser identificada en la zona de estudio se procedió a ser incluida dentro de las especies seleccionadas por su valor de importancia.

Al realizar la comparación con los estándares de calidad ambiental para suelo (Ver figuras N° 2 y N°3) del año 2017 correspondientes al DS N° 011-2017-MINAM se identificó que en la zona no impactada “Las Gradadas” las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo se encuentran por debajo de los Estándares de calidad ambiental peruanos (ECA), a excepción del cadmio que sobrepasa a este en 0.42 mg/kg. Asimismo, en la zona de pasivos mineros El Sinchao la acumulación de arsénico, cadmio y plomo sobrepasan los ECA, mientras que el Mercurio no excede el valor umbral. Además, se logró comprobar que el suelo de la zona de pasivos mineros El Sinchao, presentó mayores concentraciones de metales a diferencia del aluminio y el estroncio los cuales tienen niveles más altos en la zona no impactada, en el caso del aluminio la alta concentración se debería a su gran abundancia en la corteza terrestre, siendo el tercero más cuantioso, produciendo que las especies de flora herbácea silvestre se adapten a condiciones desfavorables gracias a que la absorción es a través del sistema radicular, lo cual aumenta la captación de fósforo, previniendo los efectos tóxicos del cobre y manganeso así como protegiéndolas de hongos patógenos; por otro lado, la zona Las Gradadas presenta suelos ácidos lo que hace que el pH del agua y del suelo cambie, promoviendo una movilización de los iones tóxicos de aluminio tal como lo indica Freire en su investigación [10].

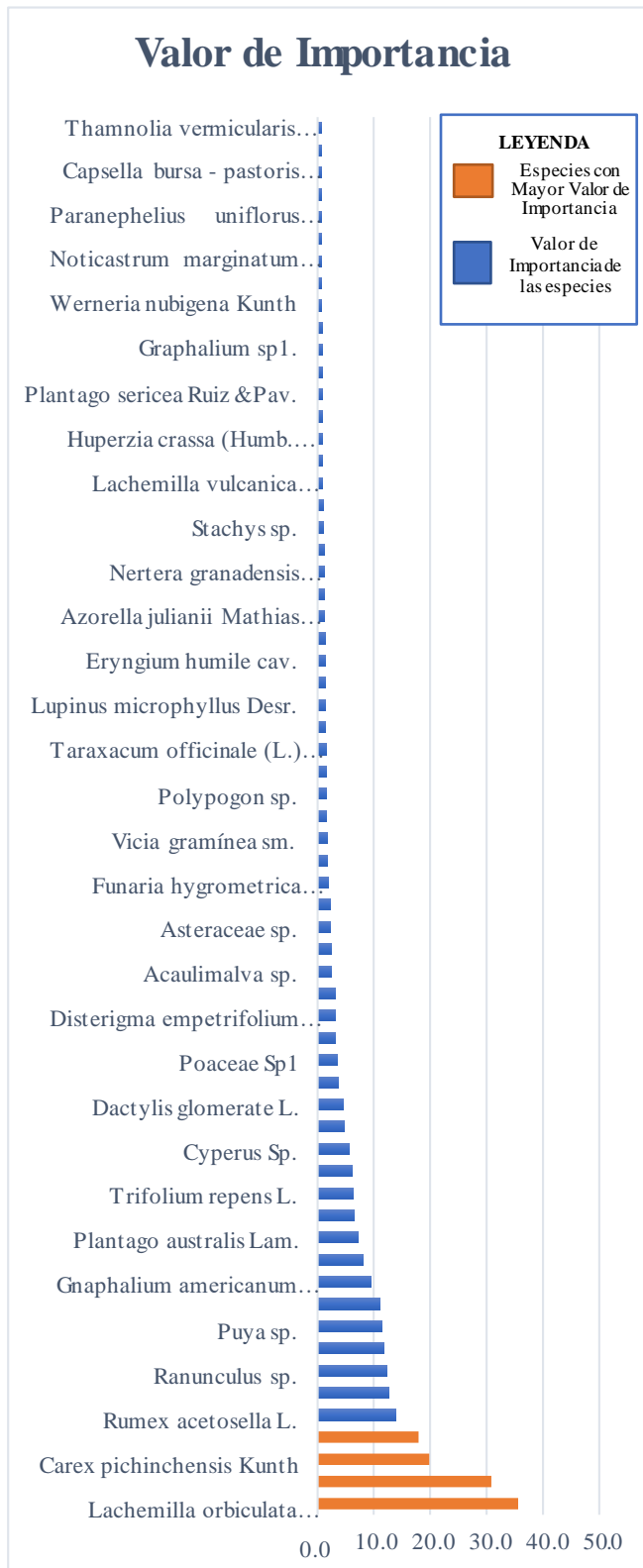


Fig. 1 Índice de Valor de Importancia de las especies de flora herbácea silvestre identificadas en los pasivos mineros el Sinchao.

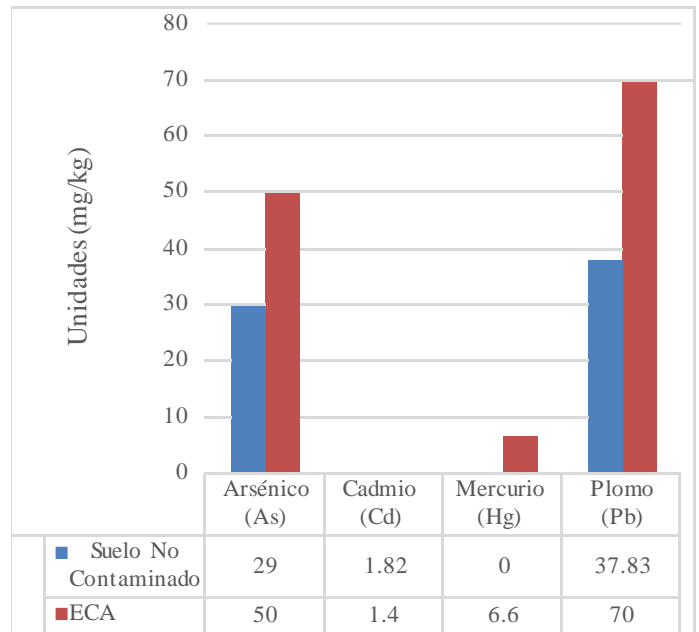


Fig. 2 Comparación de la concentración de metales en Suelo no Contaminado - Las Gradadas con los Estándares de Calidad Ambiental Peruanos DS N° 011-2017-MINAM.

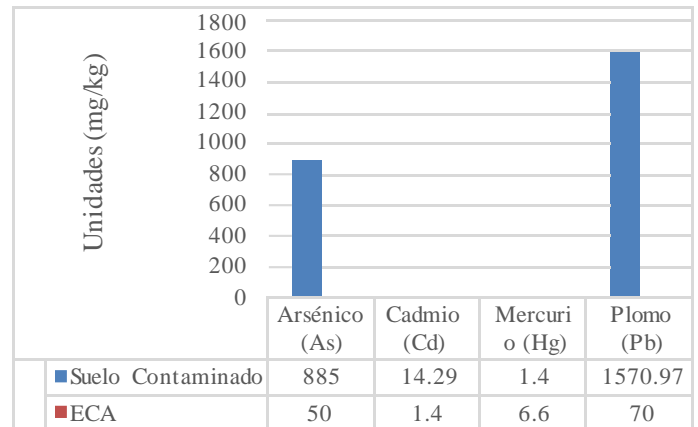


Fig. 3 Comparación de la concentración de metales en Suelo Contaminado - El Sinchao con los Estándares de Calidad Ambiental DS N° 011-2017-MINAM.

Al analizar las concentraciones de los metales pesados se logró verificar que muchas plantas son capaces de crecer de manera adecuada en suelos contaminados, esto según Castañeda [11] se produciría porque la flora excluye iones potencialmente tóxicos de sus sistemas de raíces. Asimismo, el autor indica que, en otras plantas, los metales son utilizados como micro nutrientes, aunque a menudo aún en concentraciones mínimas saturarían a la planta. Por otro lado, señala que la habilidad de tolerar la presencia de metales pesados está determinada por el nivel de variación genética del individuo. Esto permitiría explicar las altas concentraciones de algunos metales, al finalizar el estudio en las cinco especies de flora herbácea silvestre en la zona de pasivos mineros En el Sinchao, se identificó que la especie *Calamagrostis tarmensis* tiene la capacidad para acumular los metales como Cu, Ni y Pb; asimismo, la especie *Paspalum*

bonplandianum acumuló el Al, Cr, Fe Sb, Sn y Zn.. En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de concentración de metales pesados en las especies colectadas en zonas contaminadas (Sinchao) y zonas no contaminadas (las Gradadas).

De la misma manera la especie *Carex pichinchensis* logró acumular en altas concentraciones al As, Hg y Mn; la especie *Lachemilla orbiculata* acumuló el Cd y Sr, donde es importante mencionar que en el estudio realizado por García [12] donde fue estudiada la especie *Vicia faba*, se obtuvo que la raíz fue el órgano que absorbió más Cd, seguida de la hoja y tallo. Como planta completa, *V. faba* absorbió cantidades de Cd entre 8.6 y 65.2 mg/kg, concentraciones tóxicas para el ser humano.

Por otro lado, el magnesio es el elemento más acumulado por la especie *Juncus conglomeratus*. Castañeda [11] en su investigación menciona algunas zonas de acumulación de distintos metales pesados como el Zn, As y Pb se produce en las raíces de las plantas, coincidiendo con los datos obtenidos en nuestra investigación, además de estos metales, también podríamos encontrar en la raíz Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Sb y Sn. Por otro lado, el Mg y Mn se encuentran en la parte aérea de la planta y los metales restantes como Ni y Sr se pueden concentrar en cualquier zona dependiendo de la especie; sin embargo, García y Prieto [12][13] citando a Moral et al., 1994; Corinne et al., 2006 señalan que algunos metales como el Ni, puede llegar a ser menos adsorbidos en suelos, pero puede ser fácilmente adsorbido por las plantas y ser ligeramente tóxico para las mismas, siendo un elemento móvil en los tejidos de las plantas, indicando que este metal se acumula preferiblemente en las hojas y en las semillas.

Al determinarse las correlaciones lineales con el fin de identificar la relación existente entre las variables de la presente investigación, se tomó en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson el cual según Restrepo [14] tiene como objetivo medir la fuerza o grado de asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas que posee una distribución normal bivariada conjunta, para ello se puede indicar que los coeficientes de correlación de la zona Las Gradadas son menores a los de la zona el Sinchao, dado que en el primer lugar de estudio presenta valoraciones como correlaciones muy bajas positivas y directas positivas moderadas, logrando afirmar que las especies no absorben en grandes cantidades a los metales pesados del suelo, sin embargo, en la zona con pasivos las valoraciones fueron de correlación directa positiva alta a directa positiva moderada, permitiendo así indicar que la relación entre estas variables se da de manera directamente proporcional, es decir, en la medida que aumenta una de ellas, aumentará la otra. Cabe señalar que el valor más alto de correlación fue el de la especie *Carex pichinchensis* con un coeficiente de 0.986, lo que significará que esta especie sería la que tiene una mejor relación entre la concentración de los metales provenientes del suelo y los metales en la planta.

Zona Las Gradadas (No contaminada)

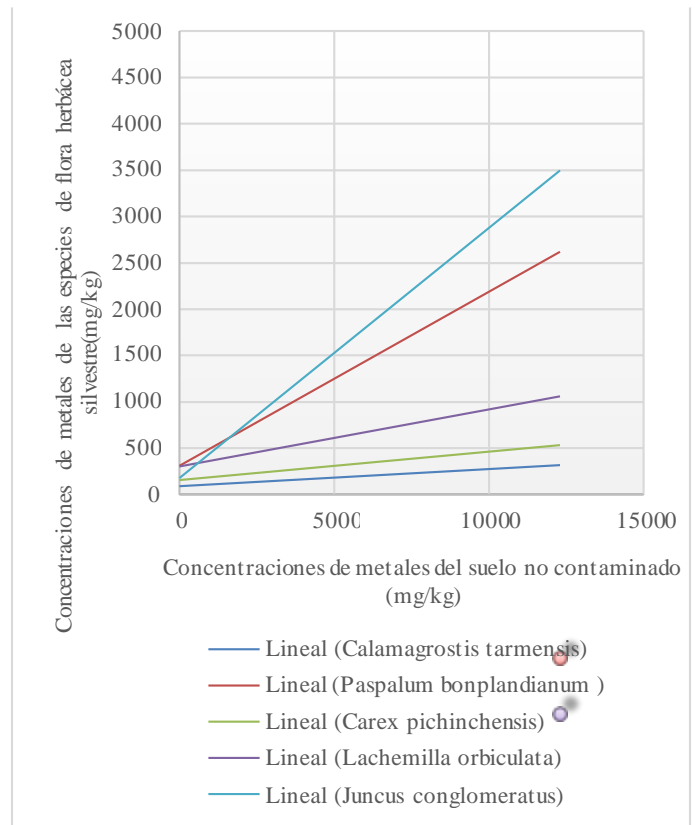


Fig. 4 Correlación entre el suelo no contaminado (Las Gradadas) y las especies de flora herbácea silvestre.

En la figura 4 se observa la relación existente entre las especies de flora herbácea silvestre y el suelo no contaminado, donde finalmente se obtuvieron los siguientes coeficientes de correlación:

- *Calamagrostis Tarmensis*: $r = 0.275$ (Muy baja correlación positiva).
- *Paspalum Bonlandianum*: $r = 0.666$ (Correlación directa positiva moderada).
- *Carex Pinchinchensis*: $r = 0.254$ (Muy baja correlación positiva).
- *Lachemilla Orbiculata*: $r = 0.295$ (Muy baja correlación positiva).
- *Juncus Conglomeratus*: $r = 0.799$ (Correlación directa positiva moderada).

Zona de pasivos mineros El Sinchao

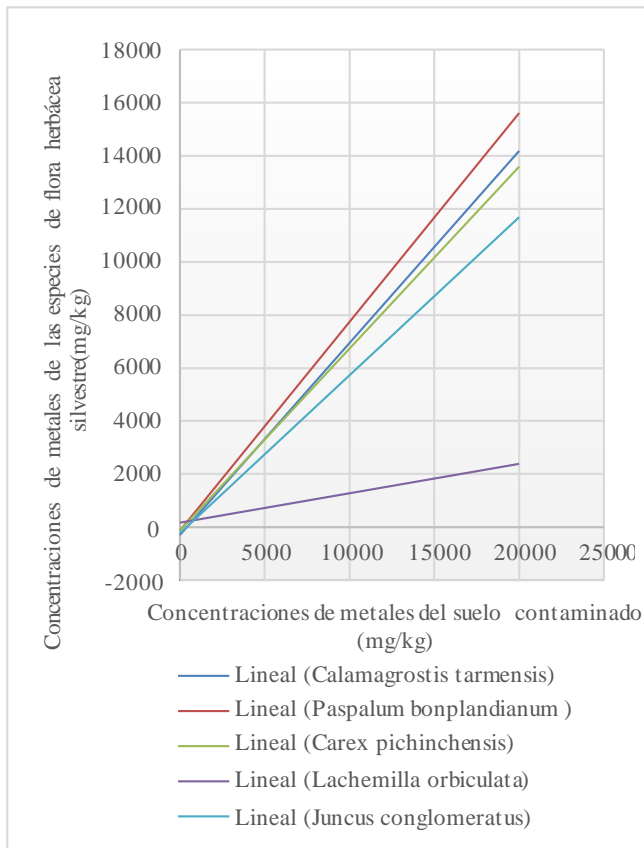


Fig. 5 Correlación entre el suelo contaminado (El Sinchao) y las especies de flora herbácea silvestre

En la figura 5 se observa la relación existente entre las especies de flora herbácea silvestre y el suelo contaminado, donde finalmente se obtuvieron los siguientes coeficientes de correlación:

- *Calamagrostis Tarmensis*: $r = 0.964$ (Correlación directa positiva alta).
- *Paspalum Bonplandianum*: $r = 0.981$ (Correlación directa positiva alta).
- *Carex Pinchinchensis*: $r = 0.986$ (Correlación directa positiva alta).
- *Lachemilla Orbiculata*: $r = 0.742$ (Correlación directa positiva moderada).
- *Juncus Conglomeratus*: $r = 0.964$ (Correlación directa positiva alta)

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de concentración total en la planta, raíz, tallo y hojas (las concentraciones de tallo y hojas se analizaron como parte de la zona aérea de la planta).

TABLA III
RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS PLANTAS EN LA ZONA NO CONTAMINADA DE LAS GRADAS

Metal (mg/kg)	SUELO NO CONTAMINADO – LAS GRADAS									
	<i>Calamagrostis tarmensis</i>		<i>Paspalum bonplandianum</i>		<i>Carex pichinchensis</i>		<i>Lachemilla orbiculata</i>		<i>Juncus conglomeratus</i>	
	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
Al	24	131.5	422.7	1184.3	18.6	252.8	123	536.1	26.8	879.6
As	0.8	2.2	4.8	6.5	0.9	1.4	1.4	2.8	0.3	10.1
Cd	0.06	0.18	1.02	1.54	0.07	0.27	1.95	4.4	0.99	2.58
Cr	0.4	0.5	1.94	1.92	0.11	0.22	0.21	0.48	0.07	1.45
Cu	3.2	4.4	18.1	30.7	16.8	37.6	12.6	16.4	10.4	40.6
Fe	89.3	276	1063.4	1686.3	81	519.3	327.5	790.1	191.7	4296.6
Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mg	485	382.5	1843	1166.5	1045.4	605.6	1878.4	942.2	1448.0	850.2
Mn	233.54	176.66	399.48	393.01	369.91	129.24	429.74	476.95	281.09	235.65
Ni	0.07	0.11	1.44	2.15	0.65	0.44	1.31	0.82	0.20	0.77
Pb	0.48	0.89	12.79	28.4	0.58	1.9	4.21	20.2	1.11	27.28
Sb	<0.2	0.3	<0.2	0.4	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2
Sn	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
Sr	5.9	10.3	14.9	6.8	11.2	9.1	67.3	43.9	11.5	9.2
Tl	0.3	0.3	0.6	1.2	<0.3	0.7	0.7	0.9	0.4	0.6
Zn	14.1	24	261.8	415.6	34.5	35.8	253.6	244.4	93.6	152.6

TABLA IV
RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE METALES EN LAS PLANTAS EN LA ZONA CONTAMINADA DEL SINCHAO

Metal (mg/kg)	SUELO CONTAMINADO – EL SINCHAO									
	<i>Calamagrostis tarmensis</i>		<i>Paspalum bonplandianum</i>		<i>Carex pichinchensis</i>		<i>Lachemilla orbiculata</i>		<i>Juncus conglomeratus</i>	
	Tallos	Raíz	Tallos	Raíz	Tallos	Raíz	Tallos	Raíz	Tallos	Raíz
Al	36.2	471.2	305.6	2539.0	45.9	2737.5	112.8	348.9	16.2	571.7
As	6.8	52.7	15.0	174.5	2.9	188.5	13.3	27.5	2.5	164.2
Cd	0.52	4.4	0.7	3.58	0.28	2.97	1.29	3.8	0.81	3.73
Cr	0.8	0.65	0.44	2.72	0.15	2.79	0.58	1.26	<0.0	0.04
Cu	45.9	533.7	30.8	166.7	25.1	220.3	24.7	56.1	16.0	163.8
Fe	785.4	14468.2	1271.4	14978.8	247.5	13806.7	826.6	1697.0	274.0	12276.3
Hg	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mg	406.9	125.4	1044.6	590.9	536.1	439.6	967.2	945.3	603.7	375.4
Mn	515.6	74.40	284.01	206.29	424.82	351.13	293.09	245.74	56.91	42.82
Ni	0.18	3.31	2.00	1.21	2.12	0.90	1.68	0.99	0.43	0.37
Pb	15.59	145.78	10.07	88.73	2.36	103.61	11.83	34.57	1.94	72.53
Sb	0.3	5.8	0.7	12.3	<0.2	12.0	0.2	2.0	<0.2	6.2
Sn	0.3	0.7	0.3	1.1	0.2	1.0	0.3	0.5	0.2	0.4
Sr	1.4	2.3	6.5	7.5	3.7	6.7	34.9	24.5	2.6	3.2
Tl	4.7	11.9	0.4	0.8	0.5	1.0	0.7	1.0	<0.3	1.5
Zn	81.3	88.4	362.9	397.3	79.9	152.2	268.9	294.1	76.7	218.4

TABLA V
RESULTADOS DE LOS VALORES DE BIOCONCENTRACIÓN BCF Y TRASLOCACIÓN TF DE LA ZONA LAS GRADAS

Metales	LAS GRADAS				
	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	<i>Paspalum bonplandianum</i>	<i>Carex pichinchensis</i>	<i>Lachemilla orbiculata</i>	<i>Juncus conglomeratus</i>
Al	0.016	0.142	0.030	0.064	0.105
As	0.076	0.224	0.048	0.097	0.348
Cd	0.099	0.846	0.148	2.418*	1.418*
Cr	0.588	2.259*	0.259	0.565	1.706*
Cu	0.078	0.543	0.665	0.290	0.719
Fe	0.022	0.137	0.042	0.064	0.349
Hg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	1.485*	4.530*	2.352*	3.659*	3.302*
Mn	2.605*	5.795*	1.906*	7.033*	3.475*
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.024	0.751	0.050	0.536	0.721
Sb	1.000*	1.333*	0.000	0.000	0.667
Sn	0.800	0.600	0.400	0.400	0.400
Sr	0.475	0.313	0.419	2.023*	0.424
Tl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.930	16.109*	1.388*	9.473*	5.915*
Al	0.183	0.357	0.074	0.229	0.030
As	0.364	0.738	0.643	0.500	0.030
Cd	0.333	0.662	0.259	0.443	0.384
Cr	0.800	1.010*	0.500	0.438	0.048
Cu	0.727	0.590	0.447	0.768	0.256
Fe	0.324	0.631	0.156	0.415	0.045
Hg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	1.268	1.580*	1.726*	1.994*	1.703*
Mn	1.322	1.016*	2.862*	0.901	1.193*
Ni	0.636	0.670	1.477*	1.598*	0.260
Pb	0.539	0.450	0.305	0.208	0.041
Sb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sn	0.500	1.000*	1.000*	1.500*	1.000*
Sr	0.573	2.191*	1.231*	1.533*	1.250
Tl	1.000	0.500	0.000	0.778	0.667
Zn	0.588	0.630	0.964	1.038*	0.613

En las tablas 5 y 6 los metales sombreados y con asterisco poseen valores mayores a 1 siendo acumuladoras de estos metales.

TABLA VI
RESULTADOS DE LOS VALORES DE BIOCONCENTRACIÓN BCF Y
TRASLOCACIÓN TF DE LA ZONA DEL SINCHAO

EL SINCHAO							
FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN - BCF	Metales	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	<i>Paspalum bonplandianum</i>	<i>Carex pichinchensis</i>	<i>Lachemilla orbiculata</i>	<i>Juncus conglomeratus</i>	
	Al	0.006	0.054	0.008	0.020	0.003	
	As	0.008	0.017	0.003	0.031	0.003	
	Cd	0.036	0.049	0.020	0.266	0.261	
	Cr	0.105	0.058	0.020	0.076	0.000	
	Cu	0.021	0.014	0.011	0.025	0.007	
	Fe	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Hg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Mg	1.363*	3.498*	1.795*	3.166*	2.022*	
	Mn	4.297*	2.367*	3.541*	2.048*	0.357	
	Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Pb	0.010	0.006	0.002	0.022	0.001	
	Sb	0.008	0.018	0.000	0.051	0.158	
	Sn	0.042	0.042	0.028	0.042	0.028	
	Sr	0.088	0.406	0.231	1.531*	0.163	
	Tl	2.136*	0.182	0.227	0.455	0.682	
	Zn	0.218	0.973	0.214	0.721	0.206	
	FACTOR DE TRASLOCACIÓN - TF	Al	0.077	0.120	0.017	0.323	0.028
		As	0.129	0.086	0.015	0.484	0.015
Cd		0.118	0.196	0.094	0.339	0.217	
Cr		1.231*	0.162	0.054	0.460	0.000	
Cu		0.086	0.185	0.114	0.440	0.098	
Fe		0.054	0.085	0.018	0.487	0.022	
Hg		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mg		3.245*	1.768	1.220*	1.023*	1.608*	
Mn		6.930*	1.377	1.210*	1.193*	1.329*	
Ni		0.054	1.653	2.356*	1.697*	1.162*	
Pb		0.107	0.113	0.023	0.342	0.027	
Sb		0.052	0.057	0.000	0.100	0.000	
Sn		0.429	0.273	0.200	0.600	0.500	
Sr		0.609	0.867	0.552	1.424*	0.813	
Tl		0.395	0.500	0.500	0.700	0.000	
Zn	0.920	0.913	0.525	0.914	0.351		

IV. CONCLUSIONES

Con el fin de determinar la capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre, se obtuvieron sus factores de bioconcentración y factores de traslocación ver tabla 5 y 6;

sin embargo, es importante señalar que para que sea fitorremediadora se requiere que la planta sea tolerante a metales o que tenga la habilidad de sobrevivir a más de uno y con capacidad de acumulación, ya sea por absorción, destoxificación o secuestro. En esta investigación es de suma importancia la determinación de los factores mencionados, y a que permiten identificar si algunas plantas son fitoextractoras o fitoestabilizadoras dependiendo de si tienen valores mayores o inferiores a 1. Al calcular los factores de bioconcentración y traslocación de la especie *Calamagrostis tarmensis* de la zona "El Sinchao" para los metales como Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe y Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl y Zn fueron inferiores a uno por lo que se puede afirmar que esta especie no es fitoextractora de dichos metales, sin embargo, serviría como extractora de Mg y Mn dado que el BCF es de 1.36 y 4.9 respectivamente lo que significa que presenta una buena relación concerniente a raíz y suelo, por otro lado contiene factores de traslocación para Mg(3.24) y Mn(6.93), lo que permite comprobar que la planta tiene una buena capacidad para trasladar metales de las raíces a su parte aérea, cabe señalar que en el caso del Ti presentó un valor de BCF de 2.136 lo que indica que es una planta fitoestabilizadora de este metal; por otro lado, en las gradas los valores son similares con la diferencia que el TF es más alto en la zona impactada del Sinchao.

De la misma forma se analizaron los BCF y TF para la especie *Paspalum bonplandianum* de la Zona del Sinchao donde el Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti y Zn presentan BCF y TF inferiores a 1, y los factores de BCF del Mg(3.498) y Mn (2.367) son altos, lo que indica que hay una buena acumulación de estos en las raíces y de la misma forma existe una buena traslocación de la raíz a la parte aérea por contar con un TF de Mg(1.768) y Mn(1.377) mayor a 1, nos permitió afirmar que esta especie también es fitoextractora del Mg y Mn; al realizar la comparación con la zona las gradas los valores de BCF son más elevados y existen mayor cantidad de metales acumulados como es el caso del Cr (2.259), Mg (4.53) y Mn (5.79), así mismo se logró identificar a esta especie como hiperacumuladora de Zn (16.109) al tener un valor mayor a 10, de la misma forma se consideraría fitoestabilizadora para los metales como Sb y Zn.

Luego de estudiar a la especie *Carex pichinchensis* se logró identificar que presenta altos valores de BCF para los metales Mg(1.795) y Mn (3.541), de la misma manera los TF son altos en estos metales Mg(1.22) y Mn (1.21) lo que permite indicar que hay una buena relación de raíz a suelo y de raíz a hojas y tallo, siendo esta especie también fitoextractora de estos metales, por otro lado los metales restantes no superan el valor de 1, al comparar estos valores con los obtenidos en las gradas se observó que ocurre lo mismo con los metales como Mg y Mn, sin embargo, este especie presentó un BCF para el Zn de 1.38, pero un TF inferior a 1, por ello se afirma que la especie es fitoestabilizadora de Zn.

Los BCF de la especie *Lachemilla orbiculata* de la zona del Sinchao son mayores a "1" como es el caso del Mg(3.166), Mn (2.04) y Sr(1.531) indicando una buena relación de suelo a raíz; asimismo, los TF para estos metales también fueron mayores,

permitiendo indicar que esta especie es fitoextractora de Mg, Mn y Sr, por otro lado en la zona las gradas ocurre los mismo con los BCF para los metales Mg(3.659), Mn (7.03), Sr(2.023), Zn(9.473) y Cd (2.418), sin embargo los TF son mayores a 1 solo para el Mg(1.994), Ni(1.598), Sr (1.533) y Zn (1.038); es decir, esta planta es fitoextractora de Mg, Sr y Zn, además de ser fitoestabilizadora para los metales como Cd y Mn.

Para la especie *Juncus conglomeratus* la especie podría ser usada en técnicas de fitoextracción de Magnesio dado que presentó un BCF de 2.022 y un TF de 1.608, produciendo que la mayor concentración de metales se ubique en la parte aérea; sin embargo, en la zona no impacta logró presentar un BCF mayor a 1 en metales como Cd(1.418), Cr (1.706), Mg (3.302), Mn (3.475), Zn (5.915) y TF de Mg(1.703) y Mn (1.193), permitiendo identificar a esta especie como fitoestabilizadora para los metales como Cd, Cr y Zn; así como planta fitoextractora para el Mg y Mn. Asimismo, esta especie fue estudiada por la bibliografía que la respalda, sin embargo, en el trabajo de investigación elaborado por Medina [8], donde identifican las concentraciones de metales pesados tanto en la raíz como en la parte aérea de la especie *Juncus arcticus Willd.* se logró identificar que la especie perteneciente a este estudio presenta una mayor capacidad fitorremediadora que el *Juncus conglomeratus*, dado que sus concentraciones de metales en el suelo de las especies difieren también, donde el suelo de la especie *Juncus arcticus* presenta mayor concentración de metales como Al, As, Mn y Ni, mientras que en el suelo de la segunda especie contiene mayor concentración en Cd, Cu, Fe, Pb y Sb; además de ello, al realizar las comparaciones de la acumulación en la parte de la raíz y aérea, se puede mencionar que la primera especie acumula mejor todos los metales a excepción del Fe, donde el *Juncus conglomeratus* tiene un valor mayor, lo mismo ocurre en la concentración de metales en el tallo y hojas, siendo el *Juncus arcticus* quien presenta mayor acumulación de todos los metales. Finalmente, sus factores de bioconcentración y traslocación presentan grandes diferencias, donde la especie *Juncus arcticus* posee valores más elevados en todos los metales tanto para los BCF y TF, sin embargo, el *Juncus conglomeratus* contiene un alto valor en el TF del Ni mayor al de la segunda especie. Además, es importante mencionar que la especie *Juncus arcticus* sería fitoestabilizadora de los metales como Al, As, Cu, Fe y Sb, así como fitoextractora de los metales como Cd, Mn, Zn y Ni.

Este es el primer trabajo de identificación de las especies emergentes en los pasivos del Sinchao en la zona altoandina del norte peruano. La información generada en la investigación incrementaría el cultivo y expansión de las especies altoandinas silvestres con potencial de uso en procesos de remediación ambiental, debido a que el estudio brinda un mejor conocimiento del comportamiento de las mismas, además de promover la aplicación de dichas especies en futuros procesos de remediación de suelos contaminados. En próximas investigaciones se continuará con el análisis de la capacidad de

acumulación de metales pesados en todas las 63 especies identificadas en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN), en el marco de la realización de la tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Autoridad Local del Agua. (2011). Informe Técnico N° 0154-2011-ANA-DGCRH/MLZT-FMHA. Lima: Ministerio de Agricultura.
- [2] Autoridad Nacional del Agua. (2012). Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca Chancay - Lambayeque Chiclayo.
- [3] Jara P, Enoc et al. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Rev. peru biol. [online]. 2014, vol.21, n.2, pp.145-154. ISSN 1727-9933. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>.
- [4] González Isabel, Muena Victoria, Cisternas Mauricio, Neaman Alexander. Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. Rev. chil. hist. nat. [Internet]. 2008 Jun [citado 2022 Ene 27]; 81(2): 279-291. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2008000200010&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000200010>.
- [5] Medina Marcos, K. D., & Montano Chávez, Y. N. (septiembre de 2014). Determinación del Factor de Bioconcentración y Traslocación de metales pesados en *Juncus arcticus Wild y Y Cortaderia rudiocula Stapf*, de Áreas Contaminadas con el Pasivo Ambiental Minero Alianza - Ancash 2013". Obtenido de biorem.univie.ac.at/: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf
- [6] MINAM. (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación. Lima: Ministerio del Ambiente. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- [7] MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. Lima: MAVET IMPRESIONES E.I.R.L.
- [8] Ávila Acosta, R. (2003). Estadística Elemental. Lima: Estudios y Ediciones R.A.
- [9] Peña Salamanca, E. J., Madera Parra, C. A., Sánchez, J. M., & Medina Vásquez, J. (s.f.). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae). Scielo, 13.
- [10] Freire Rallo, S. (21 de noviembre de 2015). Efectos de la contaminación por aluminio. Obtenido de Investigación en salud ambiental y ecotoxicología: <https://toxamb.wordpress.com/2015/11/21/efectos-de-la-contaminacion-por-aluminio/>
- [11] Castañeda Ceja, R. (24 de marzo de 2015). Los metales pesados y sus efectos ambientales.
- [12] García, C., Moreno, J., Hernández, M. T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. Obtenido de biblioteca-digital.sag.gob.cl/...suelos_aguas...suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf
- [13] Prieto Méndez, J., Gonzáles Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Redalyc, 29-44.
- [14] Restrepo B., L. F., & González L., J. (2007). De Pearson a Spearman. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 11.