

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO DE LAS ESPECIES VEGETALES
BIOACUMULADORAS DE ARSENICO, CADMIO Y PLOMO
EMERGENTES EN AREAS MINERAS ALTOANDINAS DEL
PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autoras:

Nadeli Cercado Ayala
Fiorela Ramos Goicochea

Asesor:

Mg. Betzabe Sulma Churampi Casas

Cajamarca - Perú

2021



DEDICATORIA

A Dios y la Virgen por darme valor y fuerzas de seguir adelante. A mi familia, por sus consejos y apoyo incondicional, especialmente a mis padres Marleny y Gustavo por su amor, sacrificio, ser mi motor y motivo durante mi trayectoria universitaria, para cumplir mis sueños y metas.

Nadeli Cercado Ayala

A Dios por brindarme la fortaleza de cumplir una meta más. A mis padres y hermanos por su incondicional apoyo, pero sobre todo a mi madre por su incansable sacrificio y amor infinito durante toda mi vida, para lograr cada una de mis metas.

Fiorela Ramos Goicochea

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos fortaleza. A nuestros padres y hermanos por su apoyo constante y su ayuda en todo momento.

Al Mg. Blgo. Marco Alfredo Sánchez Peña por su constante acompañamiento y su conocimiento brindado para la elaboración de este trabajo.

A nuestra Asesora Mg. Betzabe Sulma Churampi Casas, por la ayuda necesaria para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación, por darnos su valioso tiempo para seguir con la elaboración del mismo.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	8
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. HIPÓTESIS	19
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	20
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
2.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	21
2.4. PROCEDIMIENTO	23
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	25
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
4.1 DISCUSIÓN	46
4.2 CONCLUSIONES.....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS	59

Índice de tablas

Tabla 1. Total de estudios analizados durante la investigación	22
Tabla 2. Ficha de recolección de Información.....	23
Tabla 3. Listado de las 29 especies analizadas en los 7 estudios analizados y los resultados de concentración total en la planta de As, Cd y Pb.....	26
Tabla 4. Codificación asignada a los autores para la representación de la figura aplicada en nuestra investigación.	28
Tabla 5. Clasificación taxonómica de especies analizadas por estudio	36
Tabla 6. Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Arsénico	40
Tabla 7, Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el arsénico.....	41
Tabla 8. Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Cd	42
Tabla 9. Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el cadmio	43
Tabla 10. Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Pb	44
Tabla 11. Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el plomo	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración total de As en las 29 especies de plantas colectadas en los siete estudios analizados en mg/kg.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Concentración total de Cadmio en las 29 plantas colectadas en los siete estudios analizados en mg/kg.	31
Figura 3. Concentración total de Plomo en las 29 plantas colectadas en los siete estudios analizados en mg/kg.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Frecuencia de clases de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Frecuencia de órdenes de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Frecuencia de familias de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.....	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

En el presente estudio se realizó un análisis de 24 especies de plantas emergentes en áreas de influencia minera en zonas altoandinas a nivel nacional, que se ubican por encima de los 3000 msnm. El estudio contempla el análisis de la acumulación total (raíz, tallo y hojas) de As, Cd y Pb en las especies vegetales reportadas en siete estudios realizados a nivel nacional que cumplieron con los criterios de selección como: ser especies altoandinas, presentar la concentración de los tres metales dentro de la investigación y ser especies emergentes en áreas impactadas por actividades mineras o pasivos mineros. Las especies analizadas son agrupadas en seis clases, once órdenes y trece familias, siendo la clase más representativa *Magnoliopsida*, el orden más representativo *Poales*, la familia más representativa *Poaceae*. Las especies que más acumularon los tres metales en los siete estudios analizados fueron *Lachemilla procumbens* v ar. Andina con 7787.8 mg/kg para el arsénico, *Polytrichum juniperinum* con 3246.7 mg/kg para el plomo y *Lachemilla orbiculata* 266.2 mg/kg para el cadmio. La familia que presentó un mayor interés para futuros estudios relacionados a la bioacumulación de As, Cd y Pb fue *Poaceae* debido a que presentó la mayor cantidad de especies acumuladoras de metales pesados. Los trabajos realizados en departamento de Cajamarca fueron los que presentaron la mayor concentración de metales pesados en las plantas.

Palabras clave: Bioacumulación, Fitorremediación, pasivos mineros, especies altoandinas, contaminación por minería arsénico, cadmio y plomo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Desde hace años los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente exportación de los recursos naturales y como principal actividad tenemos la Minería.

Actividad que tenemos presente en nuestro país; el Perú es uno de los países que más pasivos alberga, en su primer inventario publicado el año 2006 se halló 850 pasivos, posteriormente se fue actualizando la información de manera constante, por lo menos una vez al año. El último inventario del 2020 según la R.M. N.º 238-2020-MINEM/DM se registraron 7 956 Pasivos Ambientales Mineros (PAM) que se encuentran distribuidos en 16 regiones del país. En el año 2016, del total de pasivos, 3 158 son de muy alto riesgo y 2 040 de Alto Riesgo, y de los cuales apenas el 23.39% se encuentran con algún tipo de instrumento de gestión, mientras que la gran mayoría (el 76.61%) han sido declarados pendientes de gestión; lo que significa en la realidad que están abandonados y totalmente expuestos, contaminan territorios enteros y afectan a las poblaciones que viven en la zona de influencia. (Sotomayor, 2013).

Cajamarca es la segunda región con el mayor número de pasivos ambientales mineros (PAM) a nivel nacional contando con 1 183 pasivos ubicados en esta región y la gran mayoría se concentran precisamente en la Provincia de Hualgayoc (1 067 PAM). Lamentablemente, Hualgayoc es una de las Provincias con el mayor número de pasivos mineros a nivel nacional y a nivel de cuencas, la del Llaucano, que precisamente pasa por esta localidad cajamarquina, figura como la segunda más afectada a nivel nacional: son 1,080 pasivos mineros identificados en toda la cuenca del Llaucano. Además, también están afectados los ríos Tingo-Maygasbamba, Hualgayoc-Arascorgue. (Sotomayor, 2013).

Entre los pasivos más relevantes y que representan peligrosas fuentes de contaminación, están las dos ex unidades mineras, Cleopatra y los Negros (53 pasivos), también Tahona (55 pasivos), Colquirrumi (394), San Nicolás (10), Sinchao (17), entre varios otros (Sotomayor, 2013).

En cumplimiento a las diferentes normas de cuidado y protección ambiental, se ha venido desarrollando procesos de remediación de pasivos a lo largo de los últimos 20 años, contando hoy en día con varios sectores ya remediados, los cuales, actualmente ya están siendo aprovechados como fuente de alimentación para sus animales.

Por esta razón existe la necesidad de analizar cuáles son las especies vegetales que a la fecha tienen capacidad de acumular As, Cd y Pb que tengan un potencial uso en el proceso de remediación. El presente trabajo “Estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú”, tiene como objetivo realizar un análisis de los diversos estudios desarrollados en el Perú, donde se haya determinado las concentraciones de estos tres metales en áreas mineras por encima de los 3000 msnm con el objetivo de establecer cuáles son las clases, ordenes, familias y géneros predominantes por su capacidad de bioacumulación de estos metales.

Antecedentes

En el trabajo de Espinoza y Vallejo (2019), quienes en su investigación denominada “Absorción y Bioacumulación de Metales Pesados de tres especies vegetales introducidas en la Amazonia Ecuatoriana en Relaves Mineros”, cuyo objetivo fue determinar la absorción y bioacumulación de metales pesados de tres especies vegetales introducidas en la Amazonía ecuatoriana en relaves mineros. Este estudio desarrolló un diseño descriptivo ya que se estudiaron tres tipos de tratamientos dando como resultado un amplio banco de datos y correlacional debido a que las interacciones

de estas variables determinarán la evolución del fenómeno de estudio. Se determinaron las concentraciones de metales pesados presentes en el relave minero mediante el análisis de absorción atómica de los cuales se seleccionó los diez metales de mayor interés, mediante el Diagrama de Pareto; para su posterior tratamiento con las especies vegetales *Flemingia macrophylla*, *Pennisetum purpureum* y *Brachiara brizantha*, el crecimiento de las plantas se verificó en base al seguimiento semanal del desarrollo morfológico y fisiológico. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA de un factor) a cuatro repeticiones de los tratamientos aplicados, al nivel de significancia de 5% y con una probabilidad del 95% respectivamente, lo que indicó que existe diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de los diez metales en los factores de bioconcentración en la raíz, en la parte aérea y factor de traslocación. Los resultados nos permitieron conocer que los metales pesados que se acumularon mayormente fueron el Cadmio en las raíces y el Plomo en la parte aérea de la planta; mientras que el metal que se trasladó mayormente de la raíz a la parte aérea fue el Arsénico. El trabajo tuvo como conclusión, que la especie vegetal más eficiente para realizar procesos de fitorremediación es la *Flemingia macrophylla*, ya que esta presentó mayor concentración de metales bioacumulados en la parte vegetativa de las plantas.

Pocohuanc (2017) quien llevó a cabo una investigación titulada “Supervivencia, crecimiento, y respuesta fisiológica de *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. en relación a diferentes concentraciones de arsénico con fines de su uso en Rizofiltración”, el trabajo tuvo como objetivo principal: Evaluar la supervivencia, crecimiento y respuesta fisiológica de *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. en relación a diferentes concentraciones de arsénico, con fines de su uso en rizofiltración. La investigación se dividió en tres experimentos, que logró demostrar la influencia de las enzimas SOD, mientras que POD, CAT y GR se mantuvieron. Las enzimas SOD

influyeron en el crecimiento de las raíces de la planta, aumentado su capacidad de absorción del As.

Diaz y Peralta (2017) Nos dieron a conocer en su investigación titulada “Estudio Comparativo de la Capacidad de Acumulación para Cadmio y Plomo de *Scirpus californicus* (Totora) y *Stypa ichu* (Ichu) Bajo Condiciones Hidropónicas”. El objetivo general del trabajo fue la realización de un estudio comparativo de la capacidad de acumulación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Scirpus californicus* (Totora) y *Stipa ichu* (Ichu) bajo condiciones hidropónicas. Los resultados obtenidos, por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, indican que la retención de Pb fue mejor en Totora a una concentración de 20 ppm llegando a retener 5.924 % (1.185 ppm) de la concentración. El Ichu en un sistema hidropónico presentó características pobres para la acumulación de Pb y Cd generando bajos niveles de acumulación.

Riffo (2016) en su trabajo “Transferencia de metales pesados Cu, Pb, Zn, Ni, Co y Cr desde un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas *Salicornia* y *Lolium perenne*” tuvo como objetivo evaluar si las plantas *Lolium perenne* y *Salicornia* podrían ser utilizadas con fines de fitorremediación (rehabilitadoras de suelos contaminados). El método que se uso fue la estadística descriptiva. Se analizaron 21 muestras de suelo distribuidas en maceteros con profundidades de Top Soil (0 -10 cm) (11 muestras) y Sub Soil (10 - 20 cm) (10 muestras), de las cuales fueron obtenidas de un sector con altos niveles de contaminación de la comuna de Talcahuano. Se analizaron las muestras físico-químicas del suelo como porcentaje de arena, limo y arcilla (granulometría), contenido de carbono orgánico (CO), pH y el contenido de metales pesados (Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn). En Conclusión, el análisis textural del suelo, presentó que es de tipo, para top soil, franco- arenoso, donde se tuvo un suelo con bastante arena, pero también cuenta con suficiente cantidad de arcilla y limo. Se demostró que existe

una relación directa entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la biodisponibilidad de los metales. En su trabajo analizó que el Factor de Traslocación y Bioacumulación, deben ser mayor a uno para considerar que la especie es bioacumuladora.

Jannet et al., (2016) en el trabajo “Extracción de metales pesados por *Lolium perenne* en residuos de mina” estudió la capacidad fitoextractora de metales pesados (MP) de la especie *Lolium perenne* emergente en residuos de mina acondicionados con biosólidos, compost y fertilizante inorgánico (Urea). En el estudio se utilizó compost compuesto por estiércol de bovino y residuos de alfalfa, el biosólido se obtuvo de una laguna de estabilización en una planta de tratamiento de aguas residuales de Tlaxcala.

La aplicación de compost permitió el desarrollo de *Lolium perenne* lo que demuestra que el uso de coberturas orgánicas permite el desarrollo de la vegetación.

Pasivos Ambientales Mineros (PAM).

Son aquellos elementos tales como instalaciones, edificaciones, labores abiertas o subterráneas, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minería abandonada o inactiva, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Ley N° 28271 Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, en el Perú).

Metales Pesados.

Según Park y Lamb (2011) el término metal pesado incluye a metales y metaloides, con un peso atómico superior a 6 g/cm^3 (exceptuando al arsénico (As), boro (B) y selenio (Se)).

Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero. Generalmente se clasifican según su abundancia en macro elementos, elementos traza y ultra traza, estos a su vez son denominados oligoelementos. En la siguiente lista se muestran los bioelementos, que son los elementos químicos, presentes en los seres vivos y se pueden clasificar en:

Macroelementos o elementos abundantes: oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloro, hierro, magnesio.

Elementos traza (oligoelementos): flúor, zinc, cobre, silicio, vanadio, estaño, selenio, manganeso, yodo, níquel, molibdeno, cromo, cobalto.

Elementos ultra traza (oligoelementos): Son aquellos elementos que se requieren en una dosis menor a 1 mg por día. La esencialidad de dichos elementos no está demostrada, excepto para el yodo y el molibdeno. (Park *et al.*, 2011).

De todos los elementos traza presentes en el suelo, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Estos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pd, Pt, Sb Sn, Te, Tl y Zn de ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos (Novotny, 1995). Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, si no las concentraciones en las que pueden presentarse, pues tienden a bioacumularse.

La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio. Cabe recordar que los seres vivos “necesitan” (en

pequeñas concentraciones) a muchos de estos elementos para funcionar adecuadamente (Alán y Romero, 2008).

Fitorremediación

Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas (Valero, 2006).

Biomagnificación de metales

La concentración de metales pesados a lo largo de una cadena trófica incrementa su nivel de toxicidad (Baird, 2004), es decir, a medida que los organismos se alimentan de otros organismos, los metales pesados aumentan su nivel de concentración, sufriendo así un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes, es decir, muchas toxinas que están diluidas en un medio, pueden alcanzar concentraciones dañinas dentro de las células (Navarro-Aviñó *et al.* 2007).

Plomo características y comportamiento

El plomo pertenece al grupo IV-A de la tabla periódica y tiene un peso atómico de 207,19. Tiene dos estados de oxidación de II y IV (formas estables), cuatro isótopos estables (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb), y dos formas radioactivas (^{210}Pb y ^{212}Pb).

Figueira *et al.* (2002) indica que la forma química en que se suele encontrarse en el medio ambiente es como Pb^{2+} . Este elemento es un contaminante altamente extendido por estar estrechamente ligado a actividades humanas de carácter industrial, energético y de transporte. El plomo emitido al medio ambiente tiene en el suelo uno de los principales receptores de este contaminante, pero además se le considera uno de los

sumideros más importante por su alta capacidad para retener este metal. La retención de Pb por el suelo supone un freno inmediato a la contaminación de la vegetación y el agua subterránea. Sin embargo, esta capacidad es limitada y un aporte de contaminante incontrolado podría superar dicha capacidad y convertir en tóxico al medio edáfico y, por tanto, pasar de ser un sumidero a ser fuente de contaminación de otros compartimentos del sistema como los seres vivos, o las aguas subterráneas (Langdon *et al.*, 2005). También una modificación de las características físico-químicas del medio, como por ejemplo por lluvia ácida, podría movilizar al metal sorbido en ese suelo (Lacatusu *et al.*, 2001). Por todo ello, es importante conocer tanto la capacidad amortiguadora del suelo, como qué procesos están involucrados en la inmovilización y movilización del metal.

Plomo (Pb) en las plantas

Algunas especies que acumulan Plomo pueden llegar a intoxicarse, a medida que se aumenta las dosis en el suelo hasta niveles menores a 1000 mg/kg de Pb en el suelo, tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de la planta que éstas no lo toleran y mueren Kabata y Pendias (2001). Además, Lerda (1992, citado en Prieto Méndez *et al.* 2009) menciona que el Pb reduce el crecimiento radicular y la frecuencia de células mitóticas y el incremento de la frecuencia de células aberrantes en *Allium cepa* (cebolla), en algunas plantas el Pb es capaz de acumularse principalmente en las raíces siendo mínima su presencia en otras partes u órganos de los cultivos, aunque El Plomo no es un elemento esencial o beneficioso para las plantas y animales, es un veneno bien conocido para los mamíferos, éste es incorporado en éstas mediante la unión a los compuestos de la pared celular y posteriormente es internalizado a las células por mecanismos que no han sido elucidados, uno de los síntomas de la toxicidad ocasionada por el Plomo es la disminución del crecimiento de la raíz y las

concentraciones letales exceden la concentración inhibitoria mínima (250 M) en menos de 10 veces, es un veneno bien conocido para los mamíferos (Vargas, 2001).

Cadmio: características y comportamiento

El Cd pertenece al grupo II-b de la tabla periódica, con peso atómico de 112,40, radio iónico de 0,97Å y ocho isótopos estables (Adriano, 1986). Es un metal relativamente raro, ocupando el puesto 67 en la abundancia de elementos y en compuestos estables (el más común es el CdS), y es casi siempre divalente (Alloway, 2013). No tiene una función biológica esencial y es altamente tóxico para plantas y animales. Las concentraciones de Cd en suelos no contaminados son normalmente bajas, pero al ser un metal relativamente móvil, fácilmente transferible y disponible, su comportamiento en los suelos contaminados representa una preocupación importante (Sánchez-Camazano et al., 1998). El Cd presenta un tiempo de residencia en suelos que varía entre 15 y 1100 años, por lo que supone claramente un problema tanto a corto como a largo plazo, y hace necesario prevenir o minimizar la contaminación por este metal. Esta contaminación es una consecuencia inevitable de la minería (Smolders *et al.*, 1999).

Cadmio (Cd) en las plantas

El Cadmio se fija a las plantas más rápidamente que el Plomo, en los frutos y semillas contienen menos Cadmio que las hojas (Ramírez, 2002). Uno de los efectos de la toxicidad del Cadmio es debido a una mayor exigencia de zinc además de cobre y el hierro, este metal es uno de los pocos elementos capaces de acumularse en las porciones comestibles de las plantas, pudiendo alcanzar niveles tóxicos para los humanos, la absorción del Cadmio por parte de las plantas representa uno de los primeros estudios de bioacumulación en las cadenas alimentarias (Madeddu, 2005).

La absorción por las plantas depende de factores del suelo y del cultivo, aquellos factores y condiciones del suelo que favorezcan la movilidad del elemento también facilitarán la absorción por las plantas, mientras que los que contribuyan a su retención por la matriz del suelo disminuirán la disponibilidad del elemento, En general, mientras mayor sea el pH del suelo, mayor será la retención del Cadmio ósea con pH alto hay menor asimilación de Cadmio por la planta (Herrera, 2000).

Arsénico características y comportamiento

El arsénico está ampliamente distribuido en gran número de minerales. Las mayores concentraciones, en general, se dan en forma de arseniuros de cobre, plomo, plata y oro o como impurezas en sulfuros (Organización Mundial de la Salud, 2016). Los principales minerales que contienen arsénico son arsenopirita (FeAsS), rejalgar (As_4S_4) y oropimente (As_2S_3). La presencia de arsénico en los suelos es un serio problema ambiental para humanos y otros organismos vivos por su elevada toxicidad. A pesar de encontrarse en bajas concentraciones, una larga exposición a arsénico inorgánico puede producir daños graves.

La fitotoxicidad de los residuos de arsénico está influenciada más por las formas químicas que presentan que por su cantidad. Es raro que la disminución de una cosecha pueda ser correlacionada con el arsénico total del suelo (Sandberg y Allen, 1975). Los diferentes compuestos varían en su disponibilidad y, por tanto, en su toxicidad; siendo el arsénico soluble en agua más fitotóxico que otros más fuertemente enlazados.

El Arsénico no es un elemento esencial para las plantas, pero si es para algunas especies de animales (Huanri, 2014).

Según Yacomelo (2014), indica que la acumulación de Arsénico en las plantas puede estar afectada por muchos factores como la concentración, el estado iónico en el que se encuentra, la dosis que se aplica, etc. Los niveles elevados de Arsénico han

posibilitado la aparición de plantas tolerantes a este metal, cuyo aspecto es similar al producido por niveles altos de Ni y Cu (Lepp, 1981), Las plantas que crecen en suelos contaminados contienen niveles mucho mayores, presentan una mayor acumulación en las raíces, estas plantas absorben Arsénico de manera fácil de tal manera que pueden estar presentes en los productos alimenticios (Huanri, 2014).

En particular la adsorción del arsenito y del arseniato en la superficie radicular es bastante rápida e intensa, obteniéndose de esta forma concentraciones muy altas de arsénico en las raíces de plantas que se desarrollan en cultivo hidropónico (Wauchope, 1975).

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Describir el estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas en el Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los resultados de los estudios realizados en el Perú sobre la concentración de arsénico, cadmio y plomo en las especies vegetales altoandinas emergentes en áreas mineras.
- Determinar cuáles han sido las clases, orden, familias de las especies analizadas en los diversos estudios realizados en el Perú que bioacumulan arsénico, cadmio y plomo.

- Determinar cuál es la especie que presenta la mayor concentración de arsénico, cadmio y plomo en todos los estudios realizados en áreas altoandinas del Perú.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al realizar el estudio de las investigaciones de las especies emergentes en las áreas mineras altoandinas del Perú podremos determinar que especies tienen una mayor capacidad de bioacumular arsénico, cadmio y plomo en su estructura.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La mayor concentración de arsénico, cadmio y plomo en las especies vegetales altoandinas emergentes en áreas mineras del Perú se encuentran en el departamento de Cajamarca.
- La clase más representativa de las especies analizadas pertenece a las *Magnoliopsida*, el orden *Poales* y la familia *Poaceae* son las que mejor acumulan los tres metales arsénicos, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú.
- Las especies que más acumularon los tres metales en los estudios analizados fueron *Lachemilla procumbens* para el arsénico, *Polytrichum juniperinum* para el plomo y *Lachemilla orbiculata* para el cadmio.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Teórica, la investigación teórica, también denominada investigación especulativa (Primo, 1994) es aquella que utiliza el pensamiento u operaciones mentales: imaginación, intuición, abstracción y deducción para crear modelos, explicaciones o teorías acerca de fenómenos no observables. Descriptiva: Sus datos son utilizados con finalidad descriptiva, no busca relación causa. Deductiva: porque se realizará un análisis de la información disponible que permita establecer cuáles son las especies con mayor concentración de los elementos en estudio. Retrospectivo: El inicio del estudio es posterior a los hechos estudiados, los datos se recogen de archivos o entrevistas sobre hechos sucedidos.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población estuvo determinada por el total de estudios analizados a nivel nacional relacionados a la acumulación de arsénico, cadmio y plomo en plantas altoandinas ubicada por encima de los 3000 msnm. Se analizaron un total de 12 estudios a nivel nacional en los departamentos de Cajamarca, Arequipa, Lima, Junín y Ancash. Los resultados de los trabajos se clasificaron según la fuente en: cinco trabajos de grado (para optar el título profesional), tres trabajos de revistas indexadas, un trabajo para optar el grado de maestro y tres trabajos para optar el grado de doctor. Ver anexo 1.

Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Laptop
- Mapa del Perú
- Fichas de recolección de información ver tabla 2 y anexo 1

Métodos

La búsqueda de información se realizó en buscadores especializados como Google académico, Redalyc, Scielo, Researchgate y el repositorio de tesis de SUNEDU. Se seleccionó como idioma el castellano e inglés. Como resultados de la búsqueda realizada se encontraron 12 estudios que se desarrollaron entre los años 2009-2020.

De los cuales se descartaron cinco haciendo un total de siete estudios aplicados. En la Tabla 1 se muestran los resultados de los estudios encontrados.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para el desarrollo del presente trabajo se aplicaron las siguientes palabras claves para la búsqueda de los trabajos analizados: Bioacumulación de metales pesados, especies vegetales en pasivos mineros, Concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en plantas, bioconcentración, especies altoandinas. Para la selección de los trabajos se estableció como criterios de elegibilidad que los estudios analizados presenten los datos de concentración del As, Cd y Pb en sus resultados, que los estudios se hayan realizado a una altitud por encima de los 3000 msnm y que todas las especies analizadas se encuentren próximas a zonas mineras. Uno de los criterios de selección relevante fue que los trabajos sean publicados en fuentes de confianza. Los estudios fueron recolectados de repositorios de tesis publicados y revistas indexadas disponibles en internet. Los trabajos incluidos presentaron una descripción detallada de la metodología analizada o indicaron que los análisis de los metales pesados se realizaron en laboratorios acreditados.

Tabla 1.
Total de estudios analizados durante la Investigación

Año de publicación	Año de publicación	Autor	Fuente	Lugar (Departamento)	Altitud Promedio msnm
“Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017”	2017	Dávila M. Nancy y Walter V. Lorena	Tesis	Cajamarca	3707
Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú	2019	Cahuana L. y Aduvire O.	Revista	Cajamarca	3245
“Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana”	2010	Durán Cuevas, P.	Tesis Doctoral	Hualgayoc.	3400
“Determinación de concentraciones de metales pesados en especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina en el distrito de Hualgayoc Cajamarca”	2016	Arango R.	Tesis Pre-Grado	Cajamarca	3515
Acumulación de metales pesados en <i>Senecio rufescens</i> DC. En dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú	2017	Dextre R. Abigail	Tesis Pre-Grado	JUNIN	4671
Acumulación de metales pesados en <i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth) Trin. Ex Steud. (Poaceae) y <i>Myriophyllum quitense</i> Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú	2017	Jara E., , Gómez J., , Montoya H., Sanchez T., Tapia L. Cano N., y Dextre A.	Revista Arnaldoa	Lima	4347
Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados	2014	Enoc Jara-Peña, , José Gómez, , Haydeé Montoya, Magda Chanco, Mauro Mariano, y Noema Cano	Revista Peruana	Lima	3668
Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación	2018	Martinez Manchego Luis	Tesis Doctoral	Arequipa	3400
“Fitoextracción de metales pesados del suelo del pasivo ambiental minero aurora-patricia por las especies herbáceas <i>Carex mandoniana</i> , <i>Equisetum bogotense</i> y <i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> , la Encañada, 2020	2020	Izquierdo C. y Lopez C.	Tesis de pregrado	Cajamarca	3217
Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	2013	Trujillo B. Karina	Tesis de maestria	Ancash	2830
Caracterización bioinorganica, fitorremdiadora, histo-taxonomica, metabólica, ecológica y enzimática de <i>Cynodon dactylon</i> en pasivos mineros de Ticapampa, Ancash - Perú.	2009	Padilla S. Jose	Tesis Doctoral	Ancash	3463
“Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el <i>Juncus arcticus</i> Willd. Y <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013	2013	Medina Marcos & Montano Chávez	Tesis de pregrado	Ancash	49755

2.4. Procedimiento

De los doce trabajos analizados se descartaron cinco que no cumplieron con los siguientes criterios de elegibilidad: la altitud del estudio (estar por debajo de los 3000 msnm), no poseer en sus resultados los tres metales (As, Cd, Pb). Para el cálculo de los tres metales pesados se procedió a sumar las concentraciones totales de los resultados presentados en la raíz, tallo y hojas para de esta manera obtener la cantidad total de cada mineral por especie estudiada. No se incluyeron las concentraciones de metal en suelo debido a que no todos los estudios presentan este dato. Para el análisis de la clasificación taxonómica de las especies se utilizó las páginas web especializadas Integrated Taxonomic System. www.itis.gov y la página web del Jardín Botánico de Missouri www.tropicos.org. En la tabla 2 se muestra la ficha completa de análisis de la información aplicada en nuestro trabajo. La ficha completa de la sistematización se presenta en el anexo 1. Para el análisis de las especies se realizaron gráficos de tortas donde se agruparon los diversos grupos de organismos colectados de acuerdo a sus niveles taxonómicos y la frecuencia con que fueron analizados en los estudios.

Tabla 2.
Ficha de recolección de Información

Nombre del estudio	Año de publicación	Autor	Fuente	Lugar (zona de estudios)	Coordenadas de las estaciones de muestreo	Altitud	Especies analizadas	Concentración de As	Concentración de Cd	Concentración de Pb

La presente Tabla 2 es el formato aplicado para la recopilación de información.

En los estudios de Izquierdo y López (2020) y Padilla (2009) ambos trabajos realizaron el análisis de concentraciones en áreas contaminadas como no contaminadas para nuestro trabajo solo consideramos el reporte de las áreas contaminadas. En el trabajo de

Dexter (2017) se analizó la misma especie en dos lagunas Ticticocha y Churuca *Senecio rufescens*, pero solo la laguna Churuca es la que se encuentra impactada por la actividad minera, por lo que solo se analizarán los datos de la planta de esta laguna en el estudio.

Es importante resaltar que la acumulación de metales pesados en las plantas se debe estrictamente a diversos factores como la concentración del mineral en el suelo, el contenido orgánico del suelo, la carga bacteriana de la rizosfera, el pH del suelo, etc. Pero para establecer cuanto es lo que se acumula y en que especie, solo se tomarán en cuenta los valores totales de concentración de la planta en nuestro estudio. Esto con el objetivo de conocer la capacidad de absorción de las especies vegetales en áreas altoandinas.

Para el análisis estadístico se agruparon los resultados de concentraciones en tres grupos de acuerdo a los siguientes rangos: grupo 1 concentraciones de As, Cd y Pb de 0 a 10 mg/kg, Grupo dos Concentraciones de 11-100 mg/kg y grupo tres concentraciones superiores a los 100 mg/kg. Para analizar su nivel de significancia se aplicó la prueba de T student en el programa IBM SPSS.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se analizaron en los siete estudios un total de 29 especies de plantas donde se obtuvo la concentración total (suma de las concentraciones de raíz, tallo y hojas) de los tres metales As, Cd y Pb. En la tabla 3 se presentan los resultados de las 29 plantas analizadas para los tres metales con sus valores obtenidos en mg/kg. Solo el estudio de Padilla en el 2009 reportó las concentraciones en ppm los cuales son equivalentes a la unidad empleada mg /kg. Todas estas especies se encuentran formando asociaciones con diversos grupos de gramíneas. El estudio de Dávila y Walter (2018) y el de Izquierdo & López son los más completos en cuanto a la identificación de especies. Los estudios de (Mego y Walter (2018), Arango (2016), Duran y Cahuana, Lizardo y Aduvire (2019) se realizaron en la misma provincia de Hualgayoc en el departamento de Cajamarca. A pesar de ello hay una notoria diferencia entre estudios en cuanto a las concentraciones obtenidas por metal.

En el anexo 1 se presentan sistematizados la concentración de los tres metales por planta y por estudio realizado. De este anexo se tomaron los datos para el procesamiento de los resultados.

Tabla 3.

Listado de las 29 especies analizadas en los siete estudios analizados y los resultados de concentración total en la planta de As, Cd y Pb.

Número de estudio	Autor	Año de publicación	Especies Analizadas
1	Davila N. y Wlater V.	2017	<i>Calamagrostis tarmensis</i>
			<i>Paspalum bonplandianum</i>
			<i>Carex pichinchensis</i>
			* <i>Lachemilla orbiculata</i>
			<i>Juncus conglomeratus</i>
2	Cahuana y Aduvire O.	2019	<i>Bryofita sp</i>
			<i>Anomobryum prostratum</i>
			<i>Marchantia Polymorpha L.</i>
			<i>Stipa mucronata</i>
			<i>Festuca dolichophylla</i>
3	Arango R.	2016	<i>Calamagrostis tarmensis</i>
			<i>Paspalum bonplandianum</i>
			<i>Polytrichum juniperinum</i>
			<i>Gamochaeta purpurea</i>
			<i>Carex bonplandii</i>
			* <i>Alchemilla orbiculata</i>
			<i>Trifolium repens</i>
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>			
4	Dextre R.	2017	<i>Gnaphalium dombeyanum</i>
			<i>Plantago australis</i>
5	Izquierdo C. y López C.	2020	<i>Senecio rufescens</i>
6	Padilla J.	2009	<i>Carex mandoniana</i>
			<i>Equisetum bogotense</i>
7	Medina K, Montano Y.	2013	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>
			<i>Cynodon dactylon</i>
			<i>Juncus arcticus</i>
			<i>Juncus articus Wild</i>
			<i>Cortaderia rudiusscula Stapf</i>

NOTA(*): Según la bibliografía especializada el género **Alchemilla** y **Lachemilla** son sinónimos. Se ha modificado la denominación **Alchemilla** para realizar una correcta interpretación de la información en relación con los otros trabajos analizados y no generar confusiones.

De la Tabla 3 podemos observar que el autor con mayor cantidad de especies analizadas (un total de 10 especies) fue Arango (2016), Dávila y Walter (2017) con

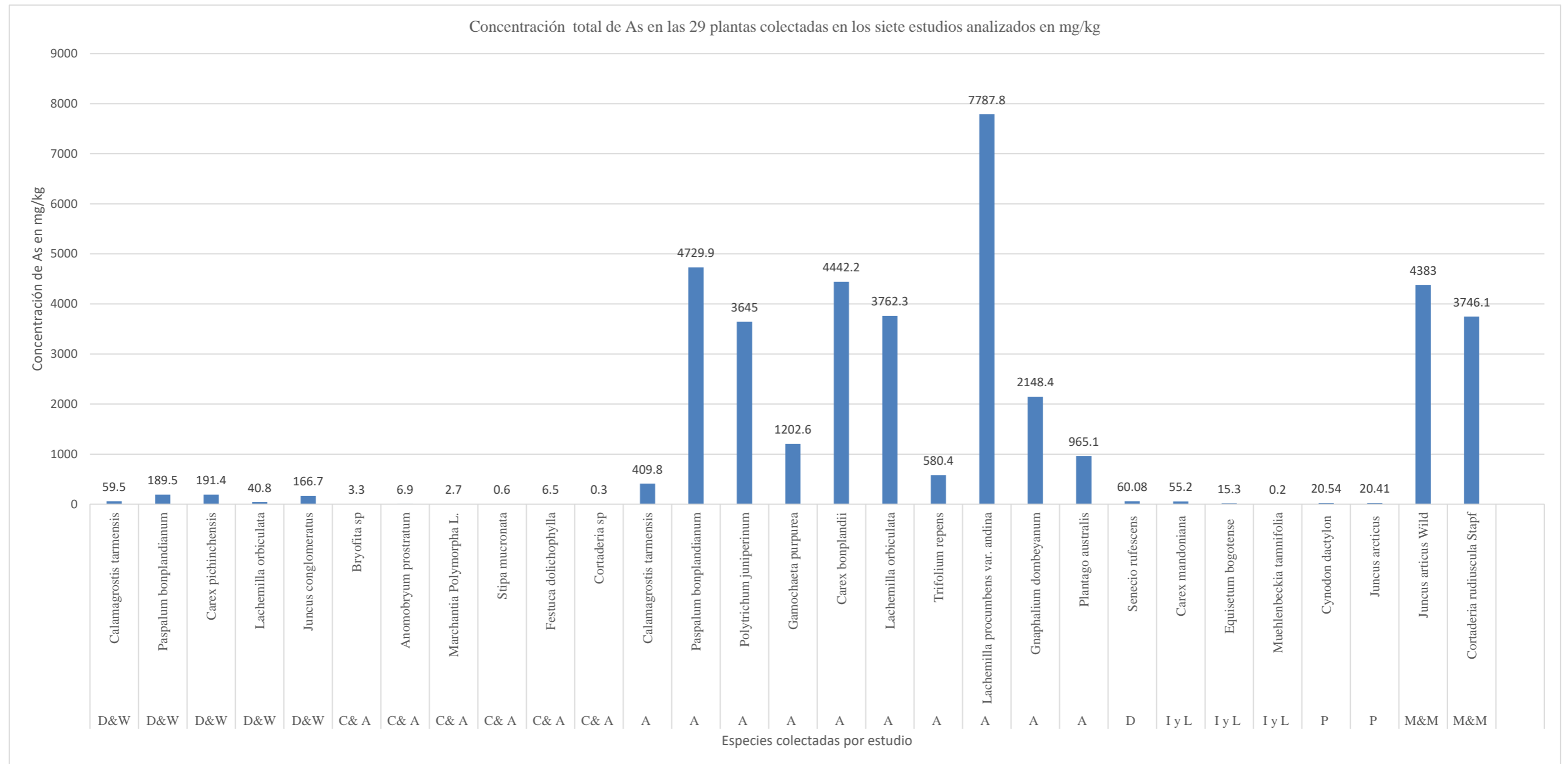
cinco especies, Cahuana y Aduvire (2019) con cinco especies, Izquierdo y López (2020) con tres especies y Dextre (2017), Padilla (2009), Medina y Montano (2013) con dos especies respectivamente. Las especies sombreadas fueron aquellas que coincidieron en los estudios siendo el *Calamagrostis tarmensis*, *Lachemilla orbiculata* en los estudios de Dávila y Walter (2018), Arango (2016), el *Juncus articus Willd* para Padilla (2009) y Medina & Montano (2013) y finalmente la *Cortaderia rudiusscula* para Cahuana, Lizardo, y Aduvire (2019) y Medina & Montano (2013). Aunque en el trabajo de Cahuana, Lizardo, y Aduvire (2019) no se especifica la especie de *Cortaderia sp.* por la descripción e imágenes presentadas se pudo consultar con Botánicos de la Universidad Nacional de Cajamarca indicando que son la misma especie en ambos estudios (*Cortadera rudiusscula*). Los resultados de concentración de los metales en todas las especies analizadas se analizarán en detalle a continuación en las siguientes figuras. En la tabla 4 se muestra la codificación asignada a los autores de los siete estudios analizados que se asignaron para la elaboración de los gráficos.

Tabla 4.

Codificación asignada a los autores para la representación de los gráficos aplicados en nuestra investigación

Autor	Simbología
Dávila y Walter (2018)	D&W
Cahuana y Aduvire (2019)	C& A
Arango Rodriguez (2016)	A
Dextre Rubina (2017)	D
Izquierdo y López (2020).	I y L
Padilla Sobrados (2009)	P
Medina y Montano (2013)	M&M

Figura 1. Concentración total de As en las 29 especies de plantas colectadas en los 7 estudios analizados en mg/kg.

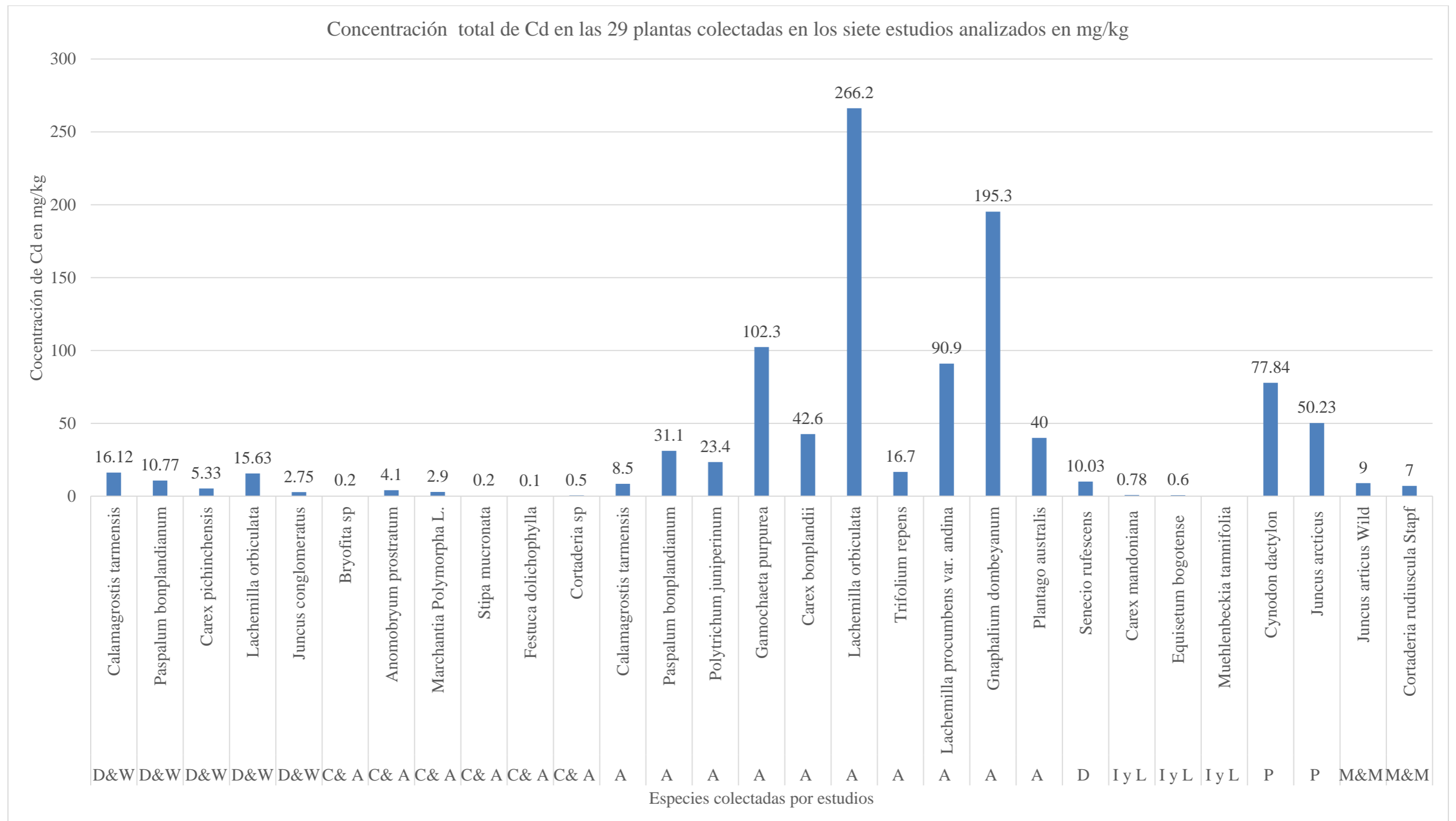


En la Figura 1 se observa que las concentraciones más altas se encontraron en el estudio de Arango (2016) siendo la *Lachemilla procumbens var. andina* la especies que mayor concentración de As presentó de todos los trabajos con 7787.8 mg/kg.

Este es el valor de concentración más alto reportado de los estudios realizados en especies altoandinas a nivel nacional.

A continuación, se enumeran las diez especies analizadas en los siete estudios con mayor concentración de As en orden decreciente. La *Lachemilla procumbens var. andina* > *Paspalum bonplandianum* > *Carex bonplandii* > *Juncus articus Wild* > *Lachemilla orbiculata* > *Cortaderia rudiusscula Stapf* > *Polytrichum juniperinum* > *Gnaphalium dombeyanum* > *Gamochaeta purpurea* > *Plantago australis*. La especie que presentó la menor concentración de As fue *Muehlenbeckia tamnifolia* con 0.2 mg/kg. Algo resaltante que se debe considerar es, que los rangos de absorción en las especies que coinciden en los estudios de Dávila y Walter (2018) y Arango (2016) para la especie *Paspalum bonplandianum* van desde 189.5 mg /kg a 4729.9 mg/kg; y para la *Lachemilla orbiculata*, las concentraciones van desde 40.8 mg/kg a 3762.3 mg/kg. Para el caso del *Juncus articus Wild* (esta es una especie acuática) paso algo similar en el estudio de Padilla (2009) y Medina & Montano (2013) 20.41 mg/kg y 4383 mg/kg. Para la *Cortaderia rudiusscula Stapf* la diferencia es muy significativa en el estudio de Cahuana, Lizardo y Aduvire (2019) se obtuvo 0.3 mg/kg mientras que en el de Medina y Montano (2013) fue de 3746.1 mg/kg. Esto nos indica que ambas especies en diferentes condiciones pueden acumular muy bien el As por lo que en futuros estudios se podrían realizar más evaluaciones para corroborar su capacidad acumuladora.

Figura 2. Concentración total de Cadmio en las 29 plantas colectadas en los siete estudios analizados en mg/kg.



Como se observa en la figura 2 el estudio que presentó los valores más altos fue de Arango (2016) seguidos por resultados de Padilla, Dávila & Walter (2018), Dexter, Medina y Montano, Cahuana, Lizardo y Aduvire (2019) y Izquierdo & López (2020).

Como se observa en la figura 2 las especies que presentó la mayor concentración de Cadmio fue la *Alchemilla orbiculata* con 266.2 mg/ kg en el estudio de Arango Rodriguez (2016), mientras que el menor valor obtenido fue de la especie *Festuca dolichophylla* con 0.1 mg/ kg. La planta *Muehlenbeckia tamnifolia* obtuvo una concentración menor de <0.05 mg/kg que fue el valor que obtuvieron en el estudio de Izquierdo y López (2020). Por esta por debajo del límite de cuantificación del laboratorio no se consideró su concentración en la figura 2.

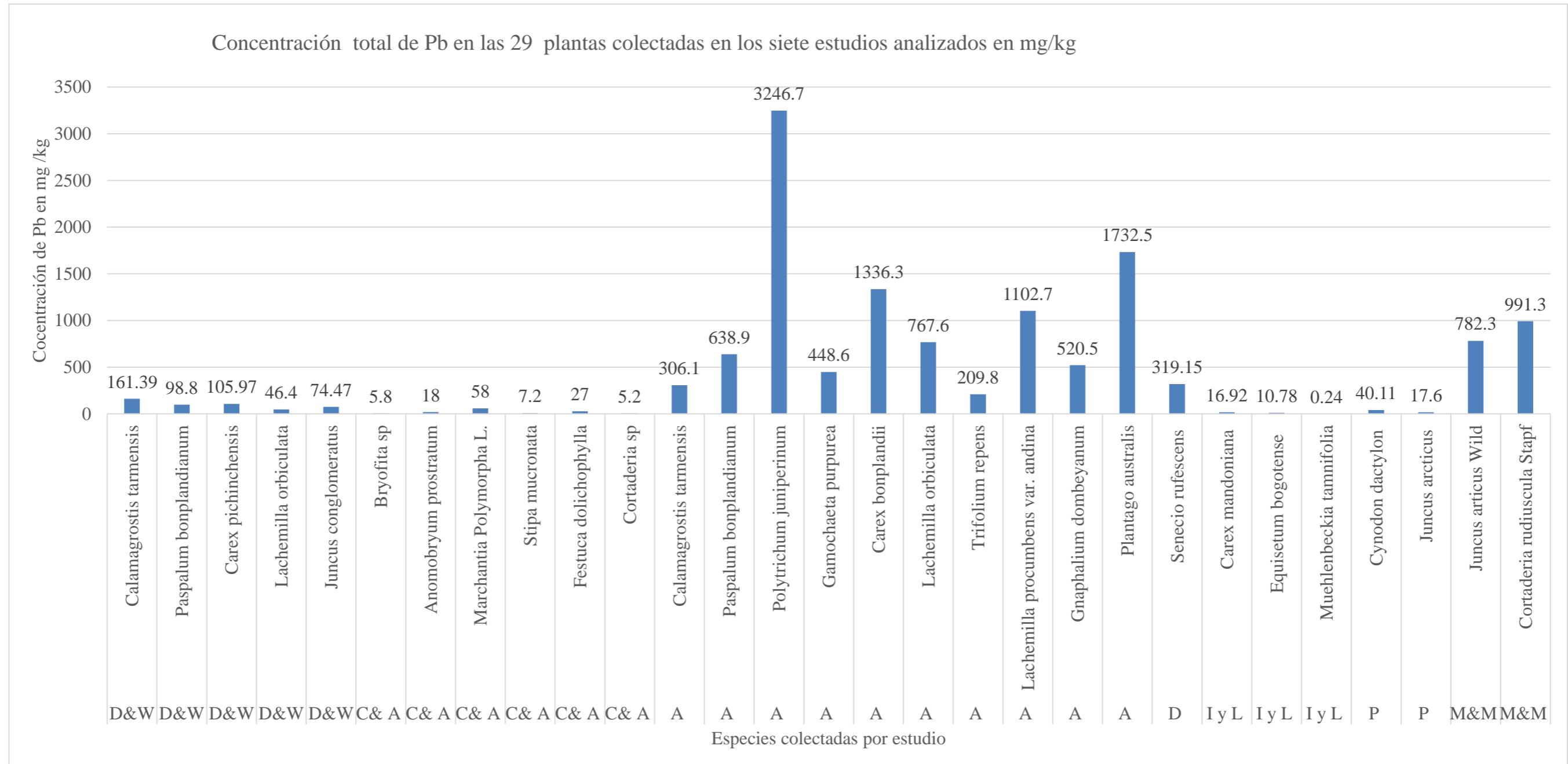
A continuación, se ordenan las 10 especies con mayor concentración de cadmio en orden decreciente *Lachemilla orbiculata*> *Gnaphalium dombeyanum*> *Gamochaeta purpurea*> *Lachemilla procumbens var. andina*> *Cynodon dactylon* > *Juncus arcticus* > *Carex bonplandii*> *Plantago australis*> *Paspalum bonplandianum*> *Polytrichum juniperinum*.

Para las especies que coinciden tenemos la *Lachemilla orbiculata* en el estudio de Dávila y Walter (2018) fue de 15.63 mg/kg y para los resultados de Arango (2016) de 266.2 mg/kg. Para el *Paspalum bonplandianum* se obtuvo 10.77 mg/kg y 31.1 mg/kg; para los resultados del *Juncus arcticus Wild* fueron de 9 mg/kg en el trabajo de Medina Marcos & Montano (2013) y de 50.23mg/kg para el de Padilla. En el caso de la *Cortaderia rudiusscula Stapf* las concentraciones van desde 0.5 en el estudio de Cahuana, Lizardo y Aduvire (2019) y siete para el estudio de Medina y Montano (2013).

A lo igual que el cadmio esto nos indica que la capacidad de absorción de las tres especies es alta en diferentes condiciones y regiones del Perú.

Los resultados de concentración para este parámetro son los más bajos en comparación al arsénico y el plomo.

Figura 3. Concentración total de Plomo en las 29 plantas colectadas en los siete estudios analizados en mg/kg.



En la Figura 3 podemos observar nuevamente que el estudio de (Arango, 2016) presentó la mayor concentración de Pb en comparación con el resto de estudios. Luego en orden decreciente siguen los estudios de Medina & Montano, Dexter, Davila y Walter, Cahuana, Lizardo y Aduvire (2019), Padilla, Izquierdo y López (2020). Los resultados de plomo en la figura 3 muestran que la especie que mejor acumuló el metal fue *Polytrichum juniperinum* con una concentración de 3246.7 mg/kg mientras que la concentración más baja la obtuvo *Muehlenbeckia tamnifolia* con 0.24 mg / kg. A continuación, se muestran las 10 especies que más acumularon plomo según los datos analizados en orden decreciente *Polytrichum juniperinum*> *Plantago australis*> *Carex bonplandii*> *Cortaderia rudiusscula Stapf*> *Juncus articus Wild*> *Lachemilla orbiculata*> *Paspalum bonplandianum*> *Gnaphalium dombeyanum*> *Gamochaeta purpurea*>*Senecio rufescens*. De las especies coincidentes las diferencias de concentración son significativa para *Calamagrostis tarmensis* 161.39 mg/kg y 306.1 mg/kg, la especie *Paspalum bonplandianum* 98.8 mg/kg y 638.9 mg/kg; para la especie *Juncus articus Wild* 17.6 mg/kg y 782.3mg/kg; para la *Cortaderia rudiusscula Stapf* fue de 5.2 mg/kg y 991.3 mg/kg.

Tabla 5.

Clasificación taxonómica de especies analizadas por estudio

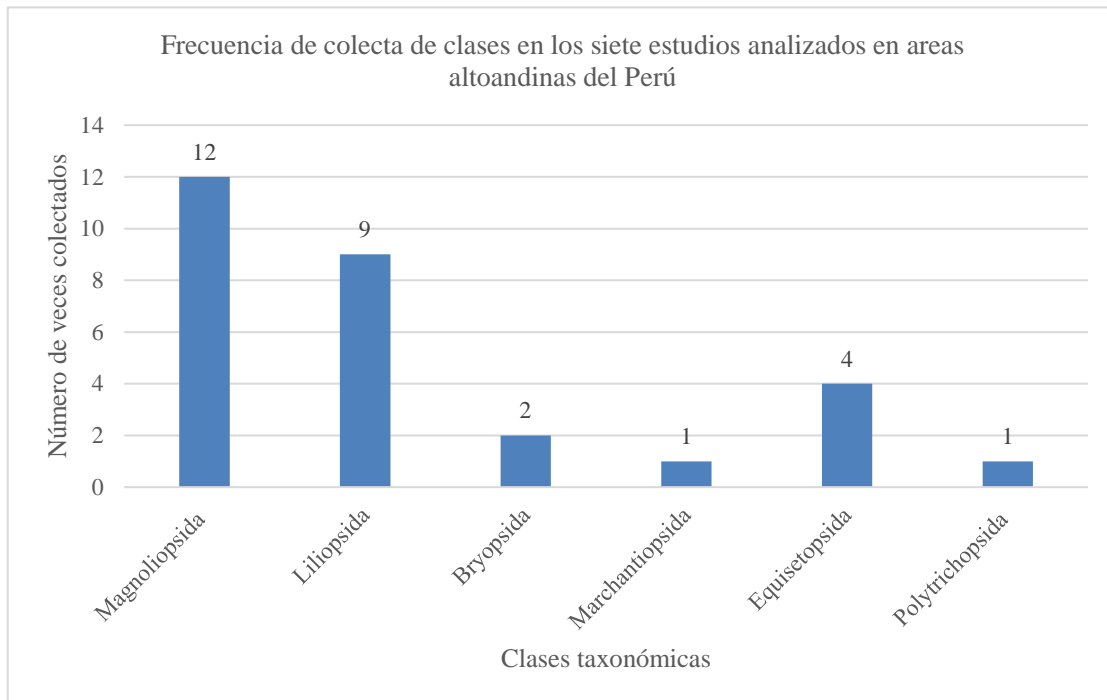
Item	Nombre científico de la Planta	Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Autores
1	<i>Paspalum bonplandianum</i> Flügge	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Paspalum</i>	<i>bonplandianum</i>	
2	<i>Carex pichinchensis</i>	Liliopsida	Poales	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>pichinchensis</i>	
3	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	<i>Lachemilla</i>	<i>orbiculata</i>	Walter y Davila
4	<i>Juncus conglomeratus</i>	Magnoliopsida	Poales	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>Conglomeratus</i>	
5	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis</i>	<i>tarmensis</i> Pilg.	
6	<i>Bryofita sp</i>	Bryopsida					
7	<i>Anomobryum prostratum</i>	Bryopsida	Bryales	Bryaceae	<i>Anomobryum</i>	<i>prostratum</i>	
8	<i>Marchantia Polymorpha</i> L.	Marchantiopsida	Marchantiales	Marchantiaceae	<i>Marchantia</i>	<i>polymorpha</i>	Cahuana y
9	<i>Stipa mucronata</i>	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Stipa</i>	<i>mucronata</i>	Aduviri
10	<i>Festuca dolichophylla</i>	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Festuca</i>	<i>dolichophylla</i>	
11	<i>Cortaderia sp</i>	Equisetopsida	Poales	Poaceae	<i>Cortaderia</i>		
12	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis</i>	<i>tarmensis</i> Pilg.	
13	<i>Paspalum bonplandianum</i>	Magnoliopsida	Poales	Poaceae	<i>Paspalum</i>	<i>bonplandianum</i>	
14	<i>Polytrichum juniperinum</i>	Polytrichopsida	Polytrichales	Polytrichaceae	<i>Polytrichum</i>	<i>P. juniperinum</i>	
15	<i>Gamochaeta purpurea</i>	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	<i>Gamochaeta</i>	<i>G. purpurea</i>	
16	<i>Carex bonplandii</i>	Magnoliopsida	Poales	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>C. bonplandii</i>	Arango
17	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	<i>Alchemilla</i>	<i>L. orbiculata</i>	
18	<i>Trifolium repens</i>	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	<i>Trifolium</i>	<i>T. repens</i>	
19	<i>Lachemilla procumbens</i> var. <i>andina</i>	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	<i>Alchemilla</i>	<i>A. procumbens</i>	
20	<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	Magnoliopsida	Asterales.	Asteraceae	<i>Gnaphalium</i>	<i>G.dombeyanum</i>	
21	<i>Plantago australis</i>	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>P. australis</i>	
22	<i>Senecio rufescens</i>	Magnoliopsida	Asterales	Compositae	<i>Senecio</i>	<i>S. rufescens</i>	Dextre
23	<i>Carex mandoniana</i>	Liliopsida	Poales	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>C. mandoniana</i>	(Izquierdo
24	<i>Equisetum bogotense</i>	Equisetopsida	Equisetales	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>E. Bogotense</i>	Ramirez & López
25	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	Magnoliopsida	Caryophyllales	Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia</i>	<i>M. tamnifolia</i>	Rodríguez
26	<i>Cynodon dactylon</i>	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Cynodon</i>	<i>C. dactylon</i>	Padilla
27	<i>Juncus arcticus</i>	Liliopsida	Poales	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>J. arcticus</i>	
28	<i>Juncus arcticus</i>	Liliopsida	Poales	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>J. arcticus</i>	Medina Y
29	<i>Cortaderia rudiusscula</i>	Liliopsida	Poales	Poaceae	<i>Cortaderia</i>	<i>C. rudiusscula</i>	Montano

En la tabla 5 se presentan los resultados de la clasificación taxonómicas de todas las 29 plantas analizadas en el estudio. Se obtuvo un total de siete clases, 10 órdenes, 14 familias.

En el estudio de Dávila y Walter (2018) se realizó el inventario de un total de 63 especies emergentes en el pasivo del Sinchao en la provincia de Hualgayoc Cajamarca, pero solo se analizaron las especies que al realizar el cálculo del valor de importancia fueron las cinco con mayor porcentaje obtenido. En el estudio de Izquierdo y López (2020) realizado en el distrito de la Encañada Cajamarca, se identificaron un total de 42 especies, pero solo se analizaron tres con mayor valor de importancia. Ambos estudios realizaron el mayor inventario de especies localizadas en áreas de influencia minera publicado de los 12 trabajos analizados.

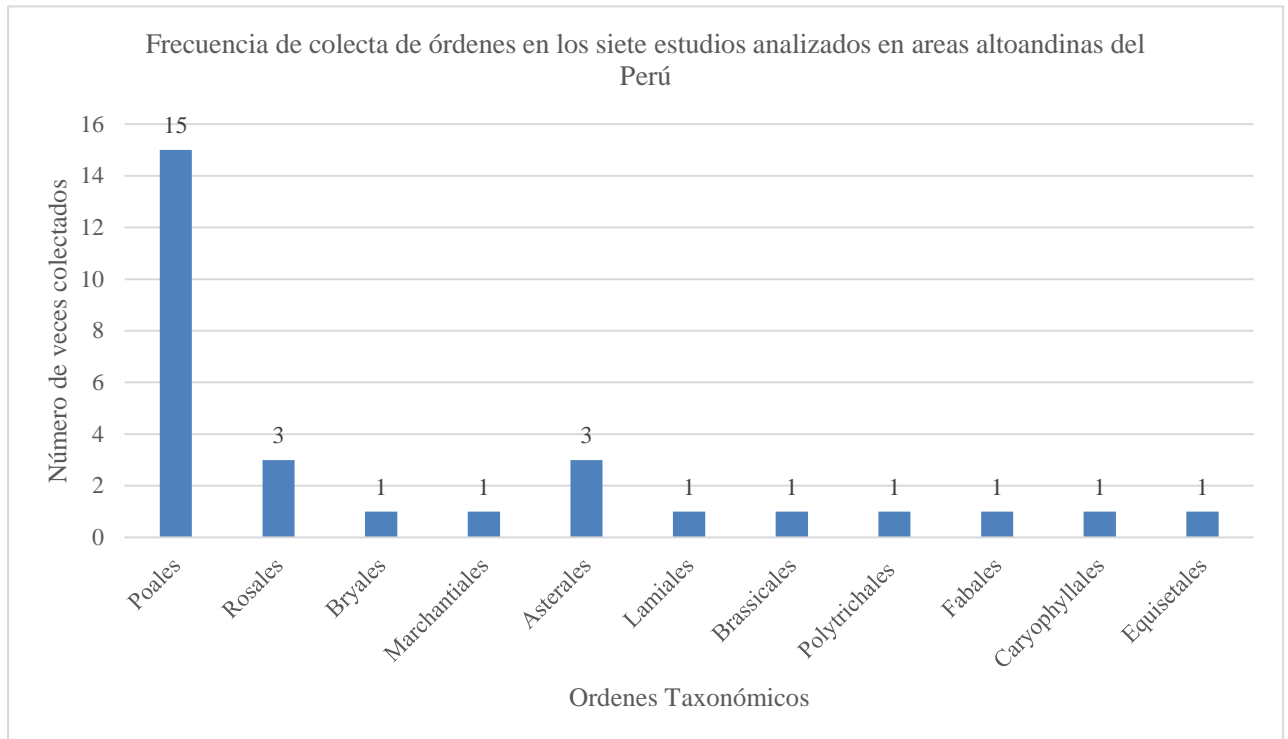
Izquierdo y López (2020) existe muchos géneros que coinciden entre ellos como *Carex*, *Cortaderia sp*, *Bidens*, *Plantago*, *Trifolium repens*, *Gnaphalium* que, aunque no se analizaron si están presentes en áreas impactadas por la actividad minera al igual que las especies analizadas en el resto de trabajos. Para complementar la evaluación de especies en las diversas regiones del Perú sería necesario realizar un inventario más profundo de las especies emergentes en cada una de las zonas evaluadas. A continuación, en las siguientes figuras se presentan los resultados generales agrupados en niveles taxonómicos de los siete estudios analizados.

Figura 4. Frecuencia de clases de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.



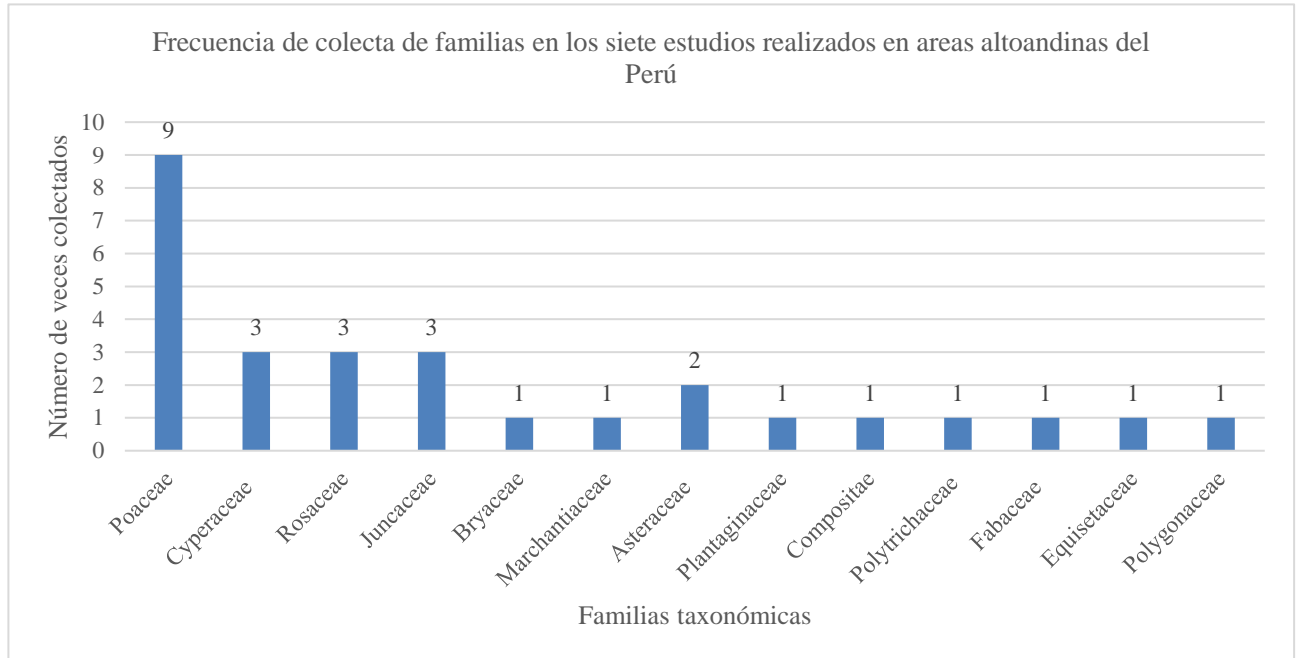
Como se muestra en la Figura 4 se determinaron seis clases taxonómicas en los siete estudios. La clase que se colecto con mayor frecuencia fue *Magnoliopsida* con 12 especies. Las clases *Liliopsida* en segundo lugar con nueve especies colectadas y *Esquisetopsida* en tercer lugar, en el caso de la clase Bryopsida (es necesario determinar la especie del estudio de Cahuana y Aduviri (2019) para establecer la frecuencia de los demás niveles taxonómicos). Las clases *Polytrichopsida* y *Marchantiopsida* fueron representadas por un solo individuo para ambos casos.

Figura 5. Frecuencia de órdenes de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.



En el total de estudios se recolectaron un total de once órdenes que agrupan a los 24 organismos identificados. No se incluyó en el análisis de frecuencias a la *Bryofita* del estudio de Cahuana y Aduviri (2019) debido a que no se conoce el orden, solo se identificó hasta el nivel de clase. El orden que presentó una mejor representación dentro de los cuatro estudios realizados fue *Poales* con 15 organismos como se observa en la figura superior. El orden *Asterales* y *Rosales* se posicionaron en segundo lugar con tres organismos colectados respectivamente. Todos los demás órdenes solo tuvieron un solo individuo en análisis general.

Figura 6. Frecuencia de familias de plantas colectadas en los siete estudios analizados en áreas altoandinas del Perú.



Se recolectaron un total de 13 familias en todos los estudios siendo la familia más representativa la **Poaceae** con nueve especies colectadas seguido por la familia **Cyperaceae**, **Rosaceae**, **Juncaceae** con tres especies en cada una. Las familias **Asteraceae** ocupa el tercer en frecuencia de colecta. Las demás familias solo fueron representadas por una sola especie.

Tabla 6.

Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Arsénico

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Grupo 1 As	2,929	7	2,8430	1,0745
	Grupo 2 As	38,836	7	19,9123	7,5261
Par 2	Grupo 1 As	2,929	7	2,8430	1,0745
	Grupo 3 As	1504,986	7	1893,7450	715,7683
Par 3	Grupo 2 As	38,836	7	19,9123	7,5261
	Grupo 3 As	1504,986	7	1893,7450	715,7683

En la tabla 6 se muestran los resultados de las medias y desviación estándar para cada grupo analizado. Los grupos como se describió en el procedimiento de la metodología consistieron en tres. Grupo 1 rangos de concentración del arsénico en las plantas de todos los estudios de 0 a 10mg/kg, grupo 2 rangos de concentración de 11 a 100 mg/kg y el grupo 3 rangos de concentración mayores a 100 mg/kg. El número de valores obtenidos en cada grupo fue de siete para permitir el contraste de las medias estadísticas (N). El grupo con mayor número de resultados fue el grupo 3.

En el anexo 2 se presenta la matriz utilizada para conformación de los grupos utilizados en las pruebas estadísticas.

Tabla 7.

Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el arsénico.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Grupo 1 As - Grupo 2 As	-35,9071	20,2231	7,6436	-54,6104	-17,2039	- 4,698	6	003
Par 2	Grupo 1 As - Grupo 3 As	- 1502,05 71	1893,4067	715,6405	- 3253,1663	249,0520	- 2,099	6	081
Par 3	Grupo 2 As - Grupo 3 As	- 1466,15 00	1910,1157	721,9559	- 3232,7123	300,4123	- 2,031	6	089

Para la prueba de T student se utilizó el valor de diferencia significativa Sig (bilateral). Se procedió a emparejar cada grupo para comparar las diferencias significativas entre las medias de concentración obtenidas en los resultados. De los resultados obtenidos podemos indicar que al emparejar los grupos 1 y 2 el p-valor nos arroja una diferencia significativa entre las medias menor a 0.05 con

0.003, lo que nos indica una diferencia significativa. Mientras que al comparar los grupos 1 y 3, grupo 2 y 3 no hay diferencias significativas ya que superan el p-valor con 0.081 y 0.089. Esto nos demuestra que indistintamente a la especie analizada las diferentes concentraciones en las plantas analizadas si guardan una relación mientras más altas se muestran las concentraciones.

Tabla 8.

Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Cd

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Grupo 1 Cd	2,913	12	3,2178	0,9289
	Grupo 2 Cd	35,443	12	26,4564	7,6373
Par 2	Grupo 1 Cd	2,760	3	2,5650	1,4809
	Grupo 3 Cd	187,933	3	82,1980	47,4570
Par 3	Grupo 2 Cd	56,023	3	19,5739	11,3010
	Grupo 3 Cd	187,933	3	82,1980	47,4570

En la tabla 8 se muestran las medias y la desviación estándar para cada grupo analizado. El programa recopiló para el análisis del grupo 1 en el primer emparejamiento 12 valores de concentración entre cada uno mientras que para el demás emparejamiento solo tres valores. Esto se debe a que en el caso del grupo 3 solo se obtuvo tre resultados que encajaban en esta categoría, por esta razón la media del Cd en el grupo 2 en el tercer par es diferente a la media del par del grupo 1. El grupo con mayor número de datos fue el grupo 1. Ver anexo 2.

Tabla 9.

Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el cadmio

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Grupo 1 Cd - Grupo 2 Cd	-32,5300	26,3976	7,6203	-49,3022	-15,7578	-4,269	11	0,001
Par 2	Grupo 1 Cd - Grupo 3 Cd	-185,1733	83,6827	48,3143	-393,0528	22,7061	-3,833	2	0,062
Par 3	Grupo 2 Cd - Grupo 3 Cd	-131,9100	97,8741	56,5076	-375,0427	111,2227	-2,334	2	0,145

Para la prueba de T student en el cadmio se utilizó el valor de diferencia significativa Sig (bilateral). Se procedió a emparejar cada grupo para comparar las diferencias significativas entre las medias de concentración obtenidas en los resultados. De los resultados obtenidos podemos indicar que al emparejar los grupos 1 y 2 el p-valor nos arroja una diferencia significativa entre las medias menor a 0.05 con 0,001, lo que nos indica una diferencia significativa. Mientras que al comparar los grupos 1 y 3, grupo 2 y 3 no hay diferencias significativas ya que superan el p-valor con 0.062 y 0.145. Al igual que el caso del As el resultado nos indica que mientras mayor la concentración del Cd en la planta hay una mayor relación entre las medias de los grupos

Tabla 10.

Análisis de medias y desviación estándar para los resultados de Pb

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Grupo 1 Pb	4,610	4	3,0315	1,5157
	Grupo 2 Pb	49,218	4	23,7858	11,8929
Par 2	Grupo 1 Pb	4,610	4	3,0315	1,5157
	Grupo 3 Pb	956,313	4	588,7692	294,3846
Par 3	Grupo 2 Pb	35,283	8	23,1402	8,1813
	Grupo 3 Pb	803,231	8	486,4935	172,0014

En la tabla 10 se muestra los resultados de las medias y desviación estándar del Pb por cada grupo analizado. El grupo que presentó el mayor número de datos fue el grupo 3. Ver anexo 2. Para las medias de los grupos 2 y 3 las medias no son iguales ya que el programa utilizó para el primer par en el grupo 2 solo cuatro datos y al emparejar el par tres utilizó la media de los ocho datos. Lo mismo se observa en el grupo 3 del par dos y tres.

Tabla 11.

Resultados de la prueba de T student al realizar un análisis de medias relacionadas entre grupos para el plomo

		Prueba de muestras emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza				
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Inferior	Superior				
Par 1	Grupo 1 Pb -Grupo 2 Pb	-44,6075	23,9051	11,9525	-82,6458	-6,5692	-3,732	3	0,034
Par 2	Grupo 1 Pb - Grupo 3 Pb	- 951,7025	590,9720	295,4860	-1892,0709	-11,3341	-3,221	3	0,049
Par 3	Grupo 2 Pb - Grupo 3 Pb	- 767,9488	470,7491	166,4350	-1161,5049	-374,3926	-4,614	7	0,002

Para la prueba de T student se utilizó el valor de diferencia significativa Sig (bilateral). Se procedió a emparejar cada grupo para comparar las diferencias significativas entre las medias de concentración obtenidas en los resultados. De los resultados obtenidos podemos indicar que al emparejar los grupos todos muestran una diferencia significativa menor a 0.05. Esto nos indica que a diferencia de los otros dos elementos las concentraciones de Pb si dependen mucho de la capacidad de absorción que tiene la planta de acuerdo a la especie.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la presente investigación se pudo analizar un total de 24 especies de plantas en los siete estudios realizados en las áreas altoandinas por encima de los 3000 msnm en el Perú que son zonas impactadas por la actividad minera. Las zonas de estudio se caracterizan por ser centros mineros en algunos casos con más de 100 años de minería como son el caso de los estudios de Cajamarca, Huaraz y Junín. Las especies colectadas en el departamento de Cajamarca en el estudio de Arango (2016) fueron las que presentaron la mayor concentración de los tres elementos confirmando la hipótesis.

Las 24 especies se agruparon en seis clases, once órdenes y trece familias. La clase más representativa del estudio fue *Magnolipsida* representada por 12 organismos, el orden más representativo fue *Poales* con 15 organismos y la familia más representativa fue *Poaceae* con nueve organismos. Es importante realizar la determinación de los grupos taxonómicos a los que pertenecen estas especies con capacidad acumuladora de As, Cd y Pb debido a que los mecanismos de absorción, transformación y fitoestabilización de estos compuestos se han desarrollado por procesos evolutivos de adaptación de las especies en condiciones extremas

ecosistémicas durante años. Pochuanca, (2017) indica en su estudio que estos mecanismos están relacionados al nivel de peroxidación lipídica, carbohidratos y prolina debido a niveles altos de enzimas peroxidantes como el superóxido dismutasa (SOD), glutatión reductasa (GR) y peroxidasas (POD) estos compuestos permiten un mejor crecimiento de las raíces de las plantas cuando se habla del caso del As. Esto explica que la generación de este grupo de enzimas oxidantes le brinda a la planta la capacidad de absorber contaminantes del suelo. En el estudio de Diaz y Peralta (2017) se aplicaron en condiciones controladas soluciones con Pb de 20 ppm en cultivos hidropónicos de *Scirpus californicus* (Totora) y *Stypa ichu* (Ichu) donde se pudo analizar que la totora acumuló mejor el plomo, la *Stypa ichu* presentó capacidad acumulativa muy baja. En comparación con nuestro estudio las plantas terrestres acumularon mucho mejor el Pb siendo la especie *Polytrichum juniperinum* la que obtuvo la mayor concentración 3246.7 mg/kg esta especie tiene una amplia distribución en los ecosistemas andinos por lo que la hace una especie con un alto potencial en procesos de remediación ambiental. Kabata y Pendias (2001) indica que altos valores de concentración de Pb por debajo de 1000 mg / kg pueden llegar a intoxicar a las plantas, esto no es el caso para nuestras especies cuyas concentraciones inclusive superan los valores presentados en los estudios analizados como es el caso de las especies *Polytrichum juniperinum*, *Plantago australis*, *Carex bonplandii*. (Vargas, 2001) describe que la toxicidad del plomo en la planta evidencia una reducción en el área radicular de la raíz, para el caso del análisis realizado no se ha podido determinar esta condición ya que los estudios no muestran datos del tamaño de raíz. Recordemos que todos los estudios analizados se han

realizado en especies silvestre y ninguno en condiciones controladas, por esta razón es necesario realizar estudios bajo condiciones controladas con las mismas plantas para analizar estas respuestas fisiológicas. En el caso del As, Pb y Cd para que podamos considerar a las especies en estudio como especies aplicables a la remediación estas no deben acumular el metal en su parte aérea para evitar su movilidad en la dieta alimenticia de los animales para así evitar su transferencia en las cadenas tróficas como también lo indica (Baird, 2004). Para el caso del cadmio según Ramírez (2002) indica que los mecanismos de absorción del cd en la planta son más rápidos que el plomo, (Marcano, 2000) además describe que la absorción del cadmio se ve influenciado por el pH del suelo, mientras más alcalino menos las absorciones de estos compuestos en la planta. Los resultados de nuestro estudio muestran bajas concentraciones de cadmio casi en todas las especies colectadas como en los estudios de Dávila y Walter (2018) y (Cahuana, Lizardo y Aduvire, 2019). Esto se debe a que las zonas de colecta en los suelos han sido tratados con Cal (estas zonas han recibido tratamientos anteriormente) para reducir la acidez de los suelos esto explicaría lo ocurrido con el cadmio y en los demás estudios no se especifica esta condición. Para el caso del estudio de Arango (2016) no se pudo observar tratamiento con cal y al tener suelos más ácidos podrían explicar los niveles de Cd en la especie *Lachemilla orbiculata*. Los suelos de las muestras colectadas por Dávila y Walter (2018) e Izquiero y Lopez (2020) por lo observado en las imágenes del trabajo tiene una buena cobertura orgánica que se ha formado por años en la zona, lo que permitiría una mejor asimilación de componentes esto coincide con lo indicado por (Bautista, 2016) en su estudio sobre el uso de compost en áreas contaminadas por residuos mineros. Según Huanri (2014)

el Arsénico no es un elemento esencial para las plantas, pero si es para algunas especies de animales. En nuestro estudio fue el elemento que mayor concentración presentó en los siete estudios realizados con 7787.8 mg/kg en la especie *Lachemilla procumbens var.* Andina. Aunque según Yacomelo (2014) indica que los valores de As rara vez alcanzan valores muy altos podemos indicar que los datos presentados en los siete trabajos indican lo contrario. Según Huanri Pacotaype (2014) indica que las plantas absorben muy bien el As es por ello que es muy frecuente encontrar este elemento en los alimentos de origen vegetal, esta afirmación está más próxima a lo encontrado en las 24 especies analizadas. Las concentraciones más altas de As, Pb y Cd se encontraron en el trabajo de Arango (2016) y de todos los estudios realizados las concentraciones más bajas de los tres metales se obtuvieron en el trabajo de Cahuana y Aduvirí (2019). En los trabajos presentados por Dávila y Walter (2018) y Izquierdo y López (2020) presentan un inventario de especies que como se indicó en la descripción de la tabla 5 hay muchos géneros que coinciden con los otros estudios realizados, lo que sugiere que es necesario realizar análisis complementarios de las especies con el objetivo de establecer el comportamiento de los metales pesados en ellas. Recomendamos profundizar los estudios en las familias *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Rosaceae*, *Juncaceae* por ser estas las que agrupan a la mayor cantidad de individuos acumuladores de los tres metales analizados. Esto significa que no solo debemos incluir en los futuros estudios como condición para el análisis de las especies, también su ubicación o proximidad a los pasivos mineros, valor de importancia en estudios poblacionales o si crecen sobre las zonas contaminadas si no que a partir del análisis realizado en este trabajo debemos

incluir como criterio de análisis la búsqueda de las especies que se engloban en estas familias debido a que ya sabemos que tienen capacidad acumulativa de estos metales. Se confirma la hipótesis específica en la cual afirmamos que la clase más representativa en nuestro estudio fue *Magnoliopsida* con 12 organismos analizados dentro de los siete estudios.

Las pruebas estadísticas mostraron una similitud en cuanto a la capacidad de absorción del As y el Cd entre grupos que se encuentran por encima de los 11 mg/kg (grupo 2 y 3) al emparejarse esto indistintamente a la especie que se analice. Mientras que para el caso del Pb ocurre lo contrario el emparejamiento de medias por grupos arrojó que estas no están relacionadas. Esto importante porque para el caso del Pb la absorción de este elemento depende netamente de la especie vegetal.

4.2 Conclusiones

- En el estudio se analizaron un total de 24 especies distribuidas en siete trabajos de investigación las cuales acumulan arsénico, cadmio y plomo. Estas se agrupan en seis clases, once órdenes y trece familias.
- La clase más representativa fue *Magnoliopsida*, el orden más representativo fue *Poales*, la familia más representativa fue *Poaceae*. La familia que presentó un mayor interés para futuros estudios relacionados a la bioacumulación de As, Cd y Pb fue *Poaceae* debido a que presentó la mayor cantidad de especies bioacumuladoras de metales pesados.
- Las especies que más acumularon los tres metales en los siete estudios analizados fueron *Lachemilla procumbens var. Andina* con 7787.8 **con** mg/kg para el arsénico, *Polytrichum juniperinum* con 3246.7 mg/kg para el plomo y *Lachemilla orbiculata* 266.2 mg/ kg.

REFERENCIAS

Adriano, D (1986). *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer New York.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1907-9>

Alloway, B (2013). Heavy Metals in Soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. *Environmental Pollution*, 22. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>

Arango, J (2016). *Determinación de concentraciones de metales pesados en especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina en el distrito de Hualgayoc, Cajamarca*. Universidad Alas Peruanas.

Baird, T (2004). *Baird 2004 HRNote*.

https://www.researchgate.net/publication/338545235_Baird_2004_HRNote

Cahuana, L; Aduvire, O (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(2), 19–36. http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n2/v4n2_a02.pdf

Dávila, N; Walter, L (2018). *Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el sinchao, distrito de chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017* [Universidad Privada del Norte]. [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13482/Dávila Mego%20Nancy Karina%3B Walter Villegas%20Lorena Chabeli.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13482/Dávila%20Mego%20Nancy%20Karina%3B%20Walter%20Villegas%20Lorena%20Chabeli.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Dextre Rubina, A (2017). *Acumulación de metales pesados en Senecio rufescens DC . en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín , Perú* [Universidad Nacional de San Marcos].
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7232/Dextre_r a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, L; Peralta, L (2017). *Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de Scirpus Californicus (Tatora) y Stypa Ichu (Ichu) Bajo Condiciones Hidropónicas* [Universidad Católica de Santa María].
<https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6412>
- Durán, A (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana* [Universdiad de Barcelona].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=102356>
- Espinoza, A; Vallejo, R (2019). *Absorción y bioacumulación de metales pesados de tres especies vegetales introducidas en la Amazonía Ecuatoriana en Relaves Mineros* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10578/1/236T0422.pdf>
- Figueira, R; Sérgio, C; Sousa, J (2002). Distribution of trace metals in moss biomonitors and assessment of contamination sources in Portugal. *Environmental Pollution*, 118(1), 153–163.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00203-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00203-2)
- Galán, E; Romero, A (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla*, 10, 48–60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6404529>
- Herrera, T (2000). La contaminación con Cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1

- y 2), 42–47. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112/1040
- Huanri, J (2014). *Determinación de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Izquierdo, C; López, C (2020). *Fitoextracción de metales pesados del suelo del pasivo ambiental minero Aurora-Patricia por las especies herbáceas Carex mandoniana, Equisetum bogotense y Muehlenbeckia tamnifolia, La Encañada* [Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/24007>
- Jannet, E; Acosta, E; Cristóbal, D; Quintero, R; Díaz, P; Robledo, E (2016). Extracción de metales pesados por Lolium perenne en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, ISSN 2334-*, 1–16.
- Jara, E; Gómez, J; Montoya, H; Chanco, M; Mariano, M; Cano, N (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145–154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Kabata, A; Pendias, H (2001). Trace Elements in Soils and Plants. In *British Medical Journal* (Tercera, Vol. 2, Issue 4640). <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4640.1355-a>
- Lacatusu, R; Dumitru, M; Risnoveanu, I; Ciobanu, C; Lungu, M; Carstea, S; Kovacsovics, B; Baci, C (2001). Soil Pollution by Acid Rains and Heavy Metals in Zlatna Region , Romania. *Organization*, 817–820. <https://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb-old/isco99/pdf/ISCOdisc/SustainingTheGlobalFarm/P104-Lacatusu.pdf>

- Langdon, C; Hodson, M; Arnold, R; Black, S (2005). Survival, Pb-uptake and behaviour of three species of earthworm in Pb treated soils determined using an OECD-style toxicity test and a soil avoidance test. In *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* (Vol. 138). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.03.002>
- Lepp, N (1981). *EFFECf OF HEAVY METAL* (Vol. 1 y 2). <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5237112>
- Madeddu, R (2005). *Estudio de la influencia del cadmio sobre el medio ambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales , epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación* [Universidad de Granada]. <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/728/1/15518231.pdf>
- Medina, K; Montano, Y (2013). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el juncus arcticus contaminadas con el pasivo ambiental Minero Alianza - Ancash 2013* [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf
- Navarro, J; Aguilar, I; López, J (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 10–25. <file:///C:/Users/User/Downloads/125-244-1-SM.pdf>
- Padilla, J (2009). *Caracterización bioinorganica, fitoremediadora, histo-taxonomica, metabolica, ecologica y enzimatica de Cynodon dactylon en pasivos mineros de ticapampa, Ancash - Peru* [Universidad Nacional de Trujillo]. http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7721/Tesis_MaestríaX -

Nélida Bazán Cobeñas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Park, J; Choppala, G; Bolan, N; Chung, J; Chuasavathi, T (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil*, 348(1), 439.

<https://doi.org/10.1007/s11104-011-0948-y>

Pocohuanca, N (2017). *Supervivencia, crecimiento, y respuesta fisiológica de Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdc. en relación a diferentes concentraciones de arsénico con fines de su uso en rizofiltración.*

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4378>

Prieto, J, González, César, Román, A; Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua.

Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 29–44.

<https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>

Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 63(1), 51.

<https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>

Riffo, A (2016). *Transferencia de metales pesados Cu , Pb, Zn, Ni, Co y Cr desde un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas Salicornia y Lolium Perenne.*

Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Sandberg, G; Allen, I (1975). A Proposed Arsenic Cycle in an Agronomic Ecosystem.

In *Arsenical Pesticides* (Vol. 7, pp. 124-147 SE – 9). AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. <https://doi.org/doi:10.1021/bk-1975-0007.ch009>

Smolders, E; Brans, K; Földi, A; Merckx, R (1999). Cadmium fixation in soils measured by isotopic dilution. *Soil Science Society of America Journal*, 63(1),

78–85.

<https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj1999.03615995006300010013x>

Sánchez, M; Sánchez, M (1996) Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en suelos urbanos u suburbanos de Salamanca y Valladolid. In III Congreso de Medio Ambiente pp. 1079-1089, Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/12511/1/T32805.pdf>

Sotomayor, A (2013). Remediación de pasivos ambientales mineros. Lima. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-3-MINEM-PERU.pdf>

Trujillo, K (2013). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora santa rosa de Jangas* [Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2639>

Valero, M (2006). *Aplicación tecnológica de las macrofitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos* [Universidad Industrial de Santander].

https://www.academia.edu/33004953/aplicación_tecnologica_de_las_macrofitas_a_la_depuración_de_aguas_residuales_con_la_ayuda_de_microorganismos

Vargas, W (2001). Madre de Dios, camino al desarrollo sostenible: Propuesta de Zonificación Ecológica Económica como base para el Ordenamiento Territorial. Puerto Maldonado: C.E.T.A. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/propuesta-zonificacion-ecologica-economica-departamento-amazonas>

Wauchope, R (1975). Fixation of arsenical herbicides, phosphate, and arsenate in

alluvial soils. *Journal of Environmental Quality*, 4(3), 355–358.

<https://doi.org/https://doi.org/10.2134/jeq1975.00472425000400030015x>

Yacomelo, M (2014). *Riesgo toxicológico en personas expuestas, a suelos y vegetales, con posibles concentraciones de metales pesados, en el sur del Atlántico, Colombia* [Universidad Nacional de Colombia].

<http://www.bdigital.unal.edu.co/12822/>

ANEXOS

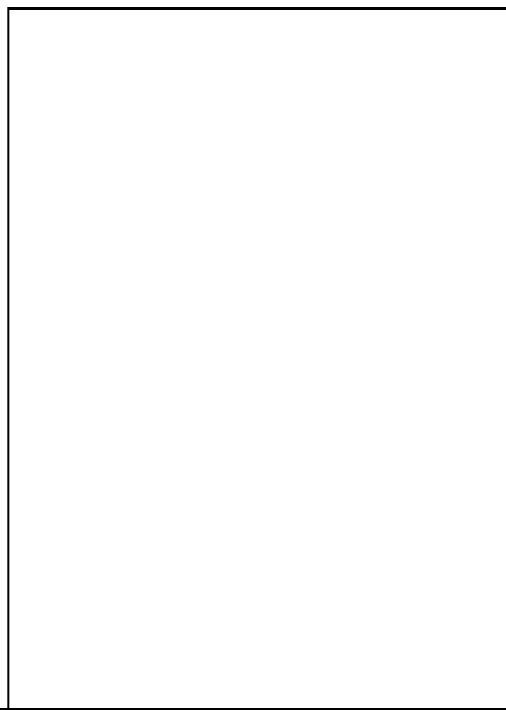
ANEXO N° 1. Ficha de recolección de información. Los estudios sombreados de gris fueron descartados por no cumplir con los requisitos contemplados en la metodología del estudio.

Nombre del estudio	Año de publicación	Autor	Fuente	Lugar (zona de estudios)	Coordenadas de las estaciones de muestreo		Altitud	Especies Analizadas	Concentración de As en la planta	Concentración de Pb en la Planta	Concentración de Cd en la planta
					Este	Norte					
“CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LAS ESPECIES DE FLORA HERBÁCEA SILVESTRE CON MAYOR VALOR DE IMPORTANCIA EN LA ZONA DE PASIVOS MINEROS EL SINCHAO, DISTRITO DE CHUGUR, PROVINCIA DE HUALGAYOC, CAJAMARCA – PERÚ 2017”	2017	Davila y Wlater V.	Tesis	El Shinchao - Chugur - Hualgayoc	7589 28	92561 79	3531	Calamagrostis tarmensis	59.5	161.39	16.12
	2017	Davila y Wlater V.	Tesis		7582 69	92566 34	3774	Paspalum bonplandianum	189.5	98.8	10.77
	2017	Davila y Wlater V.	Tesis		7578 91	92572 16	3748	Carex pichinchensis	191.4	105.97	5.33
	2017	Davila y Wlater V.	Tesis		7575 34	92574 12	3739	Lachemilla orbiculata	40.8	46.4	15.63
	2017	Davila y Wlater V.	Tesis		7576 52	92574 32	3743	Juncus conglomeratus	166.7	74.47	2.75
BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN TEJIDOS DE VEGETACIÓN ACUÁTICA Y TERRESTRE EVALUADOS EN ÁREAS DONDE EXISTEN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN EL PERÚ	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista	Hulagayoc	7665 61	92531 92	3153	Bryofita sp	3.3	5.8	0.2
	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista		7660 96	92537 69	3206	Anomobryum prostratum	6.9	18	4.1
	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista		7657 78	92538 14	3261	Marchantia Polymorpha L.	2.7	58	2.9
	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista		7663 18	92532 60	3203	Stipa mucronata	0.6	7.2	0.2
	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista		7659 89	92533 32	3291	Festuca dolichophylla	6.5	27	0.1
	2019	Cahuana y Aduvire O.	Revista		7654 38	92837 68	3354	Cortaderia sp	0.3	5.2	0.5

“Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana”	2010	Durán C.	Tesis Doctoral	Hualgayoc.	7°7' S	78°27' W	2621	Bidens tripinervia	471	5842		
	2010	Durán C.	Tesis Doctoral						Senecio sp.	490	424	
	2010	Durán C.	Tesis Doctoral						Sonchus oleraceus	269	948	
	2010	Durán C.	Tesis Doctoral						Baccharis latifolia	1425	808	
	2010	Durán C.	Tesis Doctoral						Plantago orbignyana	353	81	
	2010	Durán C.	Tesis Doctoral						Lepidinium bipinnatifidum	442	6934	
“DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN ESPECIES VEGETALES QUE CRECEN EN ZONAS ADYACENTES A LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN EL DISTRITO DE HUALGAYOCCAJAM ARCA”.	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado	Hualgayoc - Cajamarca				Calamagrostis tarmensis	409.8	306.1	8.5	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Paspalum bonplandianum	4729.9	638.9	31.1	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Polytrichum juniperinum	3645	3246.7	23.4	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Gamochoeta purpurea	1202.6	448.6	102.3	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Carex bonplandii	4442.2	1336.3	42.6	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado				3515	Alchemilla orbiculata	3762.3	767.6	266.2	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Trifolium repens	580.4	209.8	16.7	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Alchemilla procumbens var. andina	7787.8	1102.7	90.9	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Gnaphalium dombeyanum	2148.4	520.5	195.3	
	2016	Arango R.	Tesis Pre- Grado					Plantago australis	965.1	1732.5	40	
Acumulación de metales pesados en Senecio rufescens DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú	2017	DEXTRE R.	Tesis Pre- Grado	JUNIN	3691 93	87165 48	4700	Senecio rufescens de Laguna Triticocha	16.76	123.45	7.605	
	2017	DEXTRE R.	Tesis Pre- Grado		3698 69	87172 67	4642	Senecio rufescens de Laguna Churuca	30.04	159.575	5.01	
Acumulación de metales pesados en Calamagrostis rigida (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y Myriophyllum quitense Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú	2017	Jara-Peña et al.	Revista Arnaldoa	Lagunas de Sierra Central	3689 74	87166 17	4684	Calamagrostis rigida Laguna Titicocha				
	2017	Jara-Peña et al.	Revista Arnaldoa		3741 33	86905 43	4140	Myriophyllum quitense Laguna Titicocha		41,63		
	2017	Jara-Peña et al.	Revista Arnaldoa		3595 93	88169 45	4257	Calamodristis rigida Laguna Yurumayo				
	2017	(Jara-Peña et al., 2014)	Revista Arnaldoa		3635 50	88148 95	4309	Myriophyllum quitense Laguna Yurumayo			1,73 (raiz)	
	2017	(Jara-Peña et al., 2014)	Revista Arnaldoa					Calomodristis rigida Laguna Quiulacocha		436,7		
	2017	(Jara-Peña et al., 2014)	Revista Arnaldoa					Myriophyllum quitense Laguna Quiulacocha				

	2017	(Jara-Peña et al., 2014)	Revista Arnaldoa					Calomodristis rigida Laguna Yanamate		262,4	
	2017	(Jara-Peña et al., 2014)	Revista Arnaldoa					Myriophyllum quitense laguna Yanamate			
Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados	2014	Peña et all.	Revista Peruan de Biología	Distrito de			3668	Raiz Solanum nitidum		576	8,7
	2014			Lachaqui				Raiz Brassica rapa		758,8	4,9
	2014			Canta- Lima				Raíz Fuertesimalva echinata		2015,1	11
	2014			(invernadero)				Raiz Urtica urens,		854,5	8,9
	2014							Raíz Lupinus ballianus		992,8	283,7
EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR LA RELAVERA EL MADRIGAL-AREQUIPA Y PROPUESTA DE FITORREMEDIACIÓN	2018	MARTINEZ	Tesis	Arequipa			3400	Brachiaria decumbens sp - Lote laguna		333,9	73,9
	2018	MANCHEGO	Doctoral	Provincia de				Brachiaria decumbens sp - Lote Churusco		196,1	33,7
	2018	LUIS		Caylloma				Brachiaria decumbens sp - Lote El Plan		280,3	30,9
	2018			Distrito EL				Mombasa en - Lote Laguna		254,4	45,19
	2018			Madrigal				Brachiaria decumbens sp - Lote Churusco		113,5	23,2
	2018							Brachiaria decumbens sp - Lote El Plan		232,9	19,9
“FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS DEL SUELO DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO AURORA-PATRICIA POR LAS ESPECIES HERBÁCEAS Carex mandoniana, Equisetum bogotense y Muehlenbeckia tamnifolia, LA ENCAÑADA, 2020	2020		Tesis para optar	Encañada	8002 24	92117 81	3224	Carex mandoniana en PA	27,6	8,46	0,39
	2020	Izquierdo C. y	Titulo	Cajamarca	8002 46	92118 28	3214	Carex mandoniana en NC	0	0,26	0,025
	2020	López C.	de Ingeniero		8002 47	92118 30	3212	Equisetum bogotense en PA	7,65	5,39	0,13
	2020		Ambiental		8002 37	92118 17	3207	Equisetum bogotense en NC	0	0,13	0
	2020				8002 15	92117 94	3223	Muehlenbeckia tamnifolia PA	0,2	0,12	0
	2020				8002 01	92118 47	3223	Muehlenbeckia tamnifolia PA	0,56	0,78	0,26

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADOR A DE LAS PLANTAS ADAPTADAS AL ENTORNO DEL RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA SANTA ROSA DE JANGAS		Trujillo Blanco	TESIS DE	HUARAZ	216 650	8 960 967	2 830	Solanum hispidum	3121,3	548,9	7,695
	2013	KARINA	MAESTRIA					Schinus molle	157,65	233,15	2,985
	2013							Cortaderia rudiusscula	1124,85	1960,45	28,35
CARACTERIZACION BIOINORGANICA, FITOREMEDIADORA, HISTO-TAXONOMICA, METABOLICA, ECOLOGICA Y ENZIMATICA DE Cynodon dactylon EN PASIVOS MINEROS DE TICAPAMPA, ANCASH - PERÚ.	2009	PADILLA	TESIS	ANCASH	9° 39'	77° 26'	3463	Cynodon dactylon - Junto a PAM	20,54	40,11	77,84
	2009	SOBRADOS	DOCTORAL		L. SUR	L.OES TE		Cynodon dactylon A 150 M DEL PAM	58,18	64,29	59,79
	2009	JOSE						Juncus arcticus - Junto al PAM	20,41	17,60	50,23
	2009							Juncus arcticus A 150 M DEL PAM	48,81	47,57	47,17
“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE	2013	Medina Marcos & Montano Chávez	TESIS Para optar el grado de Ingeniero Ambiental	ANCASH	232 163	8 921 351	4975	Juncus articus Wild	4383	782,3	9

BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE METALES PESADOS EN EL <i>Juncus arcticus</i> Willd. Y <i>Cortaderia rudijscula</i> Stapf, DE ÁREAS CONTAMINADAS CON EL PASIVO AMBIENTAL MINERO ALIANZA - ANCASH 2013	2013	MONTANO CH.		PASIVO MINERO		4100	<i>Cortaderia rudijscula</i> Stapf	3746,1	991,3	7
--	------	-------------	--	---------------	--	------	------------------------------------	--------	-------	---

Anexo 2. Matriz de datos utilizada para la prueba de T student

G1As	G2As	G3As	G1Cd	G2Cd	G3Cd	G1Pb	G2Pb	G3Pb
3.3	59.5	189.5	5.3	77.8	102.3	5.8	46.4	782.3
6.9	40.8	191.4	2.8	50.2	266.2	7.2	74.5	991.3
2.7	60.1	166.7	0.2	40.0	195.3	5.2	18.0	319.2
0.6	55.2	409.8	4.1	10.0	ND	0.2	58.0	1732.5
6.5	15.3	4729.9	2.9	90.9	ND	NULO	16.9	520.5
0.3	20.5	3645.0	0.2	16.7	NULO	NULO	40.1	1102.7
0.2	20.4	1202.6	0.1	42.6	NULO	NULO	17.6	209.8
NULO	NULO	4442.2	0.5	23.4	NULO	NULO	10.8	767.6
NULO	NULO	3762.3	8.5	31.1	NULO	NULO	NULO	1336.3
NULO	NULO	580.4	0.8	15.6	NULO	NULO	NULO	448.6
NULO	NULO	7787.8	0.6	10.8	NULO	NULO	NULO	3246.7
NULO	NULO	2148.4	9.0	16.1	NULO	NULO	NULO	638.9
NULO	NULO	965.1	7.0	NULO	NULO	NULO	NULO	306.1
NULO	NULO	4383.0	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO	106.0
NULO	NULO	3746.1	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO	161.4
NULO	NULO	965.1	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO	NULO