

# Bioprospección de especies vegetales en minas abandonadas y su potencial uso como especies fitorremediadoras

**Lucía Fernández**Autora de correspondencia. Doctora en Bioquímica. Universidad Nacional de La Pampa, Argentina.  **Walter Alejandro Muiño**Doctor en Biología. Universidad Nacional de La Pampa, Argentina.  **Anabel Saran**Doctora en Bioquímica. CONICET - Agencia de Investigación Científica, La Pampa, Argentina.  **Luciano José Merini**Doctor en biotecnología. CONICET - Agencia de Investigación Científica, La Pampa, Argentina.  <https://dx.doi.org/10.5209/redc.99478>

Recibido: 4 de diciembre de 2024 • Revisado: • Aceptado: 11 de marzo de 2025

**ES Resumen:** La minería metalífera, como muchas otras actividades económicas, genera modificaciones tanto en la geografía como en la fisiografía del paisaje natural. Los residuos de esta actividad se caracterizan por poseer un alto contenido de metales pesados, así como también químicos de síntesis, los cuales constituyen una severa problemática socioambiental. Un plan de cierre minero debería contemplar acciones de tratamiento que impliquen la recuperación del ambiente, lo cual es posible realizarlo mediante la aplicación de tecnologías de fitorremediación. Con el objetivo de buscar nuevas especies con potencial fitorremediador, se realizó la bioprospección y evaluación bibliográfica de la potencialidad remediadora de las especies vegetales aromáticas presentes en dos sitios mineros abandonados de la provincia de Mendoza, Argentina. En los suelos en los cuales crecía la vegetación se analizaron las características fisicoquímicas y texturales, y la concentración total de metales pesados mediante espectrometría de emisión atómica con atomización electrotérmica. Como resultado, se registró un total de 16 especies vegetales diferentes, en su mayoría representadas por las familias Asteraceae y Poaceae, y todas presentaron, acorde a la literatura consultada, potencial fitorremediador de medio a alto. Los suelos se caracterizaron por ser arenosos, con bajos porcentajes de materia orgánica y en general, el contenido total de metales no superó los límites máximos permisibles para suelos de uso agrícola, a excepción del plomo, cuya concentración superó 50 mg/Kg. Como conclusión, las especies vegetales presentan potencial fitorremediador, no obstante, se espera, confirmar dicha potencialidad de forma experimental en futuros ensayos de laboratorio y campo.

**Palabras clave:** minería; metales pesados; remediación; suelo.

## ENG Bioprospecting of plant species in abandoned mines and their phytoremediation potential

**ENG Abstract:** Like many other economic activities, metal mining changes the geography and physiography of the natural landscape. The waste from this activity is characterised by, among other things, a high content of heavy metals and synthetic chemicals, which represent a serious socio-environmental problem. A closure plan for the mine is expected to include treatment measures involving environmental restoration, which is possible through the application of phytoremediation technologies. To search for new non-exotic phytoremediation species, a bioprospecting and bibliographic evaluation of the remediation potential of aromatic plant species present in two abandoned mining sites in Mendoza, Argentina, was conducted. The physicochemical and textural characteristics of the soil where vegetation grew, as well as the total concentration of heavy metals, were analysed using atomic emission spectrometry with electrothermal atomisation. As a result, 16 different plant species were identified, mainly from the Asteraceae and Poaceae families, all of which had medium to high remedial potential according to the literature consulted. The soil was sandy, with a low organic matter content, and in general the total metal content did not exceed the maximum permissible limits for agricultural soils, except for lead, whose concentration is above 50 mg/kg. In conclusion, the plant species have remediation potential, but this will have to be confirmed experimentally in future laboratory and field tests.

**Keywords:** mining; heavy metal; remediation; soil.

## FR Bioprospection d'espèces végétales dans les mines abandonnées et leur utilisation potentielle comme espèces de phytoremediation

**FR Résumé:** L'exploitation des métaux, comme de nombreuses autres activités économiques, génère des changements à la fois dans la géographie et dans la physiographie du paysage naturel. Les déchets issus de cette activité présentent notamment une teneur élevée en métaux lourds et en produits chimiques de synthèse, ce qui constitue un grave problème socio-environnemental. Un plan de fermeture minière prévoit des actions de traitement qui impliquent la récupération de l'environnement. Celle-ci peut être réalisée grâce à l'application de technologies de phytoremédiation. Dans le but de rechercher de nouvelles espèces de phytoremédiation non exotiques, une bioprospection et une évaluation bibliographique du potentiel curatif des espèces de plantes aromatiques présentes dans deux sites miniers abandonnés de la province de Mendoza, en Argentine, ont été réalisées. Dans les sols dans lesquels poussait la végétation, les caractéristiques physico-chimiques et texturales ainsi que la concentration totale en métaux lourds ont été analysées par spectrométrie d'émission atomique avec atomisation électrothermique. En conséquence, un total de 16 espèces végétales différentes a été recensées, principalement représentées par les familles des Asteraceae et des Poacée. Toutes présentaient, selon la littérature consultée, un potentiel curatif moyen à élevé. Les sols étaient caractérisés par leur sable, avec de faibles pourcentages de matière organique et, en général, une teneur totale en métaux inférieure aux limites maximales admissibles pour les sols à usage agricole, à l'exception du plomb, dont la concentration est supérieure à 50 mg/kg. En conclusion, les espèces végétales présentent un potentiel curatif ; toutefois, ce potentiel devrait être confirmé expérimentalement lors de futurs essais en laboratoire et sur le terrain.

**Mots-clés:** exploitation minière; métaux lourds; remédiation; sol.

**Sumario:** 1. Introducción. 1.1. Fitorremediación y minería. 2. Metodología. 2.1. Área de estudio. 2.1.1. Estudio del suelo y comunidad vegetal. 3. Resultados. 3.1. Estudio del suelo y de la comunidad vegetal. 4. Discusión y conclusión. 5. Fuentes de financiación. 6. Declaración de la contribución por autoría. 7. Referencias bibliográficas.

**Cómo citar:** Fernández, L., Muiño, W. A., Saran, A. y Merini, L. J. (2025): "Bioprospección de especies vegetales en minas abandonadas y su potencial uso como especies fitorremedadoras", *Revista Española de Desarrollo y Cooperación (REDC)*, 52(1), pp. 129-143.

## 1. Introducción

### 1.1. Fitorremediación y minería

A pesar de la constante modernización e incorporación de nuevas normas de producción minera que apelan al cuidado del ambiente, los impactos negativos vinculados al pasado de esta actividad se presentan en la actualidad como pasivos ambientales mineros (PAM). En Argentina no existe una definición precisa para el término PAM, sin embargo, la Secretaría de Minería de la Nación en el proyecto de Gestión Ambiental Minera ha reconocido como tales a los sitios mineros abandonados (Kirschbaum *et al.*, 2012). En estos sitios se pueden encontrar faenas, instalaciones y residuos que pueden constituir un riesgo significativo para la salud y el medio ambiente (Moreno Morales y Chaparro Ávila, 2009).

Tanto en Argentina como en el resto del mundo, existen explotaciones mineras que han sido abandonadas sin la debida aplicación de un plan de cierre (Lavandaio, 2014; Rack *et al.*, 2017). Uno de los ejemplos más destacados es la mina de Abra Pampa (Jujuy-Argentina) en donde funcionaba la Fundición Metal Huasi. Su abandono generó la acumulación de grandes cantidades de escoria, enriquecida con plomo. Estos pasivos ambientales están en plena ciudad, afectando a la población, principalmente la infantil (Castro Mariscal *et al.*, 2010).

Los problemas socioambientales que enfrenta Abra Pampa son similares a los que ocurren en otras partes del mundo tales como Japón (Hoang Ha *et al.*, 2009), Perú (Martínez-Manchego *et al.*, 2021) y China (Wu *et al.*, 2021) en donde las ausencias de planes de cierre mineros han generado la contaminación de los suelos y, para remediarlos, se aplicaron estrategias de fitorremediación que involucran el uso de especies vegetales para estabilizar o reducir la concentración de los metales pesados (Raklami *et al.*, 2022).

Si se las compara con los métodos convencionales de remediación, las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser de bajo costo, sustentables con el ambiente ya que mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo y permiten revegetarlo, brindando también valor estético al paisaje. A su vez, son aplicables para tratar contaminantes orgánicos e inorgánicos (Becerril *et al.*, 2007; Zimicz, 2016).

Las técnicas de fitorremediación reducen *in situ* o *ex situ* la concentración o disponibilidad de diversos compuestos, entre ellos los metales pesados, a partir de los procesos bioquímicos y fisiológicos realizados por las plantas y los microorganismos asociados (Delgadillo-López *et al.*, 2011). A través de una serie de mecanismos moleculares, celulares, fisiológicos y/o anatómicos, las plantas logran vivir en presencia de los metales pesados (Jogawat *et al.*, 2021; Noor *et al.*, 2022). Según las especies vegetales y el tipo de metal

pesado, estos pueden permanecer retenidos en el entorno radicular, evitando así que se desplacen hacia otros componentes del ambiente, término que se conoce como fitoestabilización (Zimicz, 2016). Mientras que otras especies, extraen los metales pesados del suelo y los acumulan en los tejidos aéreos, proceso que se denomina fitoextracción (González-Chávez *et al.*, 2017).

En la literatura científica, se han identificado varias familias botánicas con potencial fitorremediador para suelos contaminados con metales pesados. Drozdova *et al.* (2019), estudiaron diferentes especies de la familia Brassicaceae y encontraron que, por ejemplo, de las 15 especies analizadas, *Arabidopsis thaliana* acumuló la mayor concentración de plomo (27.4 mg/kg) radicular, en tanto que la mayor concentración de cadmio radicular se encontró en *Thlaspi arvense* en valores de 0.57 mg/kg. La familia Poaceae también presenta una gran cantidad de especies tales como *Cymbopogon flexuosus*, *Brachiaria mutica*, *Leersia hexandra*, *Panicum virgatum*, *Phragmites* spp., *Miscanthus* spp., *Pennisetum purpureum*, *Phyllostachys edulis* y *Cynodon dactylon*, han sido recomendadas para remediar suelos mineros (Patra *et al.*, 2021). Dentro de esta misma familia, la especie *Lolium perenne*, en condiciones de laboratorio, eliminó entre un 90-94% del cobre y zinc, entre un 70-72% del plomo, níquel y manganeso, y un 80% del cromo del suelo (Jankaitė y Vasarevičius, 2007). Las Asteraceae son otra familia con una amplia diversidad de representantes capaces de, por ejemplo, absorber plomo a nivel radicular o foliar. Para el primer caso, *Tagetes minuta* y *Bidens pilosa* presentaron valores de plomo en hojas de 380,5 mg/kg y 100,6 mg/kg respectivamente (Salazar y Pignata, 2014), mientras que en la raíz de *Helianthus petiolaris* se hallaron valores de entre 195 a 304 mg/kg (Saran *et al.*, 2022).

Tal como se mencionó, en el mundo existen varias zonas mineras abandonadas y su remediación implica todo un desafío. No obstante, las técnicas de fitorremediación están consideradas como una de las opciones más adecuadas para llevar a cabo la recuperación de estos ambientes (Venkateswarlu *et al.*, 2016). La vegetación que crece naturalmente en suelos mineros abandonados es única, debido a su capacidad para hacer frente a altos niveles de metales pesados, por lo que pueden ser consideradas como recursos biológicos en las tareas de remediación y revegetación de zonas alteradas por las actividades mineras (Barrutia *et al.*, 2011).

Hay trabajos que denotan la búsqueda de especies vegetales nativas con potencial remediador en suelos mineros abandonados (Barrutia *et al.*, 2011; Hasnaoui *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2022). Estas especies, en comparación con la vegetación introducida, logran sobrevivir, crecer y reproducirse bajo las condiciones de estrés que impone el sitio, ya sea las ambientales como las generadas por la contaminación (Branzini y Zubillaga, 2010; Bacchetta *et al.*, 2015).

En Argentina, se utiliza flora nativa o endémica para remediar suelos con metales pesados (Torri *et al.*, 2009; Branzini y Zubillaga, 2010; Salazar y Pignata, 2014; Salazar *et al.*, 2020), sin embargo, aún no se han realizado estudios de bioprospección en suelos mineros abandonados. Las especies vegetales nativas y/o endémicas que crecen naturalmente en suelos mineros abandonados de la provincia de Mendoza presentan potencial fitorremediador lo que las convierte en candidatas viables para programas de remediación de suelos impactados por la minería, por lo que el objetivo de este trabajo es: realizar la bioprospección de especies vegetales no exóticas en los dos sitios mineros abandonados y aplicar una metodología de valoración teórica del potencial remediador.

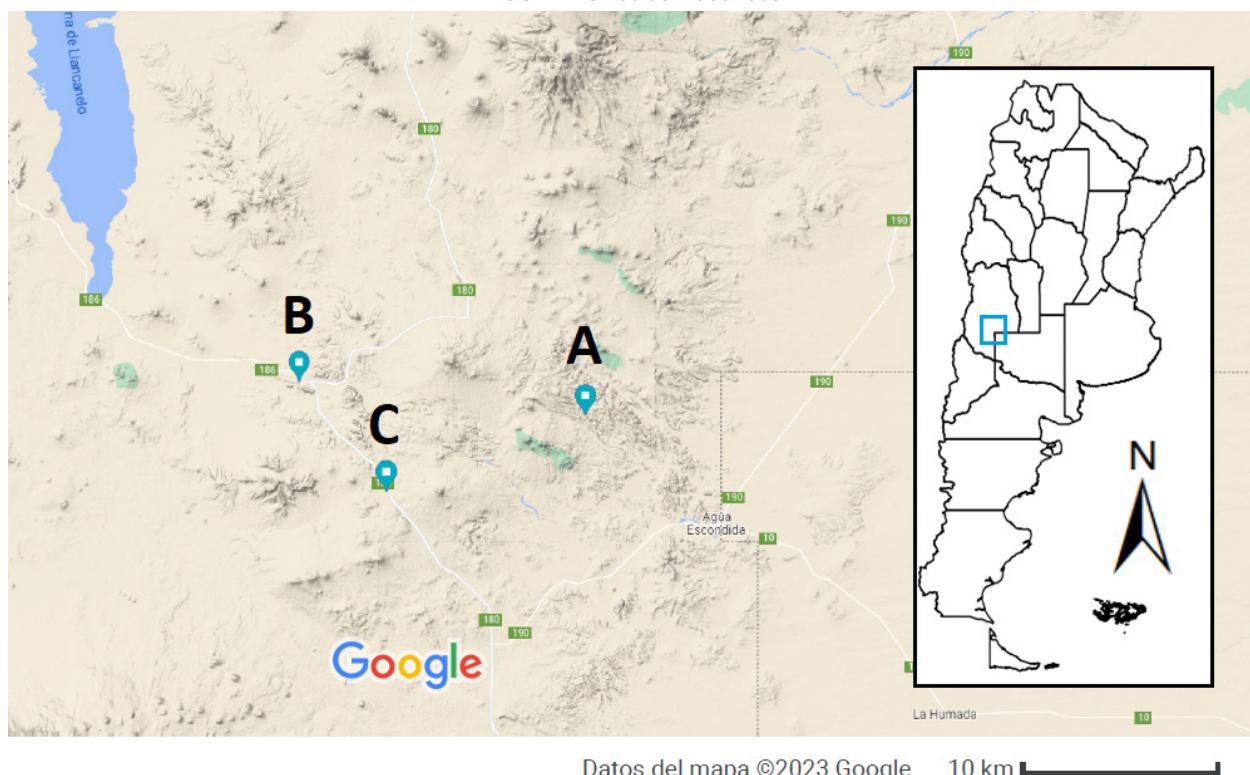
## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en la región de La Payunia, al sur de la provincia de Mendoza, (Argentina). Es una extensa zona volcánica con altiplanicies formadas por coladas basálticas apiladas, piedemontes locales y áreas deprimidas. Los suelos que predominan son de tipo esqueléticos y subesqueléticos aunque también existen sectores donde se ha desarrollado un suelo turbo-arenoso-arcilloso. Las precipitaciones medias están en los 198 mm, en tanto que la temperatura media anual es de 21, 3° C, mientras que durante el período estival e invernal, las medias son de 27, 5° C y 12, 9° C, respectivamente (Guevara *et al.*, 2011). Las zonas de muestreo incluyen a las minas abandonadas de Mina Ethel (36°00'32" S; 68°49'50" O) y Mina Santa Cruz (36°02'32.5" S; 68°28'05.0" O) y un sitio control (sin minería y de similares características a los otros dos) denominado Pampa de los Pajaritos (36°07'12" S; 68°43'13" O).

Estos sitios son cercanos a la localidad de Agua Escondida, departamento de Malargüe (provincia de Mendoza, Argentina) y se sitúan en el sector que comprende la serranía de Borbarán, puntualmente el cruce de las rutas provinciales 180 y 186 (figura 1) al sureste de Mendoza y La Pampa. El relieve se compone por un sistema de llanuras con bajos salitrosos, medianos, montañas además de los derrames lávicos extra-andinos. El bioclima es semiárido y la vegetación presenta una composición similar a la región fitogeográfica del Monte debido al predominio de estepas arbustivas dominada por especies de la familia Zigophyllaceae, estepas edáficas de arbustos halófitos como *Suaeda divaricata*, *Atriplex* spp, *Allenrolfea vaginata* (Martínez Carretero, 2004).

FIGURA 1. Sitios de Muestreos



Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth. Nota: (A) Mina Ethel; (B) Mina Santa Cruz; (C) Pampa de los pajaritos (Provincia de Mendoza, Argentina).

El departamento de Malargüe ha tenido una intensa actividad minera de tipo metalífera y de rocas de aplicación (Mallimacci et al., 2010). Particularmente en mina Ethel y mina Santa Cruz, en las que se llevó a cabo la explotación de manganeso desde 1950 hasta 1970, momento a partir del cual la extracción se tornó antieconómica a nivel nacional. Esto, sumado al deterioro de la producción nacional minera, dio como resultado el cierre y posterior abandono de las minas (Fig. 2) (Abaca y Vedia, 2015).

FIGURA 2. Minas abandonadas de la región de La Payunia en la provincia de Mendoza, departamento de Malargüe, Argentina



Fuente: Elaboración propia. Nota: (A) Campamento Mina Ethel; (B) Interior de instalaciones en Mina Ethel; (C) Construcciones abandonadas Mina Santa Cruz; (D) Construcciones abandonadas Mina Ethel.

En los sitios aledaños a los campamentos mineros y las bocas de minas se realizaron censos de especies vegetales y la caracterización de las propiedades fisicoquímica y textural del suelo. También, se determinó la concentración total de cuatro metales pesados, de los cuales 3 de ellos: plomo, cadmio y zinc fueron seleccionados por estar entre los contaminantes principales de la minería metalífera (Zimicz, 2016). Además, están incluidos entre los 13 contaminantes prioritarios según la *Environmental Protection Agency* (EPA por sus siglas en inglés) debido a los severos daños que pueden ocasionar a la salud (EPA, 1996). En tanto que, el cuarto metal, el manganeso, fue analizado debido a la explotación que se realizaba en las minas Ethel y Santa Cruz.

### **2.1.1. Estudio del suelo y comunidad vegetal**

Se colectaron muestras de suelos compuestas por cinco submuestras homogeneizadas y fraccionadas por cuarteo, para obtener así una correcta representatividad de los sitios. Para su recolección se empleó barreno helicoidal. Las muestras para análisis fisicoquímicos del suelo fueron secadas al aire, trituradas, homogeneizadas y tamizadas a menos de 2 mm. La profundidad seleccionada para los sitios fue de 0-20 cm correspondientes al horizonte A, el cual permite medir materia orgánica, fósforo (P), pH, micronutrientes (Zn y Mn) y CE (conductividad eléctrica) que forman parte -a nivel nacional- del conjunto mínimo de indicadores de un suelo (CMI) (Wilson *et al.*, 2017).

Las características fisicoquímicas texturales y el contenido de macro y micro-elementos de los suelos se determinó en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Agropecuaria-INTA Anguil (La Pampa) mediante métodos convencionales (Carter y Gregorich, 2007).

El contenido de metales pesados se analizó por espectrometría de emisión atómica con atomización electrotérmica, en el laboratorio del Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales (INCITAP-UNLPam). Para esto, se realizó una digestión y mineralización previa de las muestras por vía húmeda en caliente (digestión ácida-oxidante asistida por microondas). En el caso particular del Pb, la mineralización se realizó por vía húmeda ácido oxidante en frío y la determinación correspondiente por espectrometría de emisión óptica de plasma inducido por microondas (MIP-OES, Agilent MP 4100 (Santa Clara, USA)), según lo descripto por García-Lorenzo *et al.*, (2014). El número de muestras fue de 18 en total (seis por sitio). Para la digestión ácida se utilizó como reactivo ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 5% (Aldrich). El flujo de gas de plasma se fijó en 20 L/min y el flujo de gas auxiliar se fijó en 1.5 L/min. Para la determinación multielemental, se aplicó configuraciones comunes: tiempo de captación 13 s, tiempo de estabilización del plasma con aspiración de muestra 15 s, tiempo de lectura 3 s (lectura por triplicado) y tiempo de lavado 20 s.

Los niveles de metales pesados reportados por la EPA (1992) y la Ley de la Actividad Minera-Impacto Ambiental (Ley 24585/95). Según la EPA (1992) los valores que indican fitotoxicidad oscilan entre: 3 a 10 mg/kg en cadmio, 50 a 100 mg/kg en plomo, 200 a 400 mg/kg en zinc y de 3000 a 8000 mg/kg para manganeso. Mientras que la Ley de Actividad Minera-Impacto Ambiental (Ley 24585/95) establece como niveles guía de calidad de suelo valores límites de 3 mg/kg en cadmio, 375 mg/kg en plomo y 600 mg/kg en zinc y no reporta valor para manganeso.

Para conocer la biodiversidad vegetal en ambas minas, se realizaron muestreos por estratos mediante observación ocular durante la época estival (marzo del 2016). Los ejemplares se determinaron a través de claves sistemáticas de las floras regionales (Boelcke *et al.*, 1985; Correa, 1999) y los nombres científicos se actualizaron según el catálogo de Plantas Vasculares del Cono Sur (IBODA, "s/f").

Aunque no se realizó un estudio fitosociológico, se estimó visualmente la abundancia/cobertura del área estudiada utilizando la escala porcentual de Braun-Blanquet (Perelman *et al.*, 2005; Alcaraz Ariza, 2013) cuyos índices son: + (individuos raros, cobertura muy baja), uno (individuos abundantes, cobertura menor 5 %), dos (individuos abundantes, cobertura del 5-25 %), tres (cualquier número de individuo que cubran el 25-50 %), cuatro (cualquier número de individuo que cubra el 50-75 %) y cinco (cualquier número de individuo que cubra 75 %). Con las especies registradas, se elaboró un listado indicando: familia, dominancia, hábito y estatus, de acuerdo con el criterio de la base de datos del IBODA.

Se evaluó, de forma teórica, la potencialidad remediadora de las especies censadas mediante una revisión bibliografía especializada. Para categorizar el potencial, se confeccionó un instrumento de valoración tomando como criterios selectivos diferentes atributos morfo-ecológicos y productivos que, según bibliografía específica en el tema, son los esperables de hallar en especies remediadoras y/o para revegetación de sitios disturbados.

A continuación, se detalla en la tabla 1 los atributos seleccionados, el formato de puntaje y las referencias que respaldan cada uno de los criterios. Con relación a la puntuación, se determinó el valor cero (0) cuando la condición no se cumple o no es la esperada, uno (1) si se desconoce o se encuentra en estudio y, dos (2) si cumple con la condición esperada. En base a la suma, se definieron tres categorías de potencialidad remediadora: baja (0-6), media (7-12) y alta (13-18).

TABLA 1. Valoración teórica del potencial remediador para la selección de especies vegetales

| Atributo   | Puntaje   | Referencias  |
|--|---|--|
| Respuesta a contaminantes<br>Capacidad de acumular, tolerar o translocar los metales pesados.  | 2: Presenta al menos una de las tres capacidades.<br>1: Desconocido o en etapa de estudio.<br>0: Ninguna capacidad.   | (Saran <i>et al.</i> , 2019; Islam <i>et al.</i> , 2024)                                     |
| Cultivo<br>Especies viverizadas y/o que se conocen los requerimientos de cultivo para facilitar y optimizar la implantación en los sitios a remediar.  | 2: Viverizadas y/o con protocolos de cultivos establecidos.<br>1: Especies en estudio y/o en proceso de viverización.<br>0: Se desconocen los protocolos de cultivo y/o no están viverizadas. | (Beider, 2012; Urretavizcaya <i>et al.</i> , 2016; Boucher y Pereyra, 2020)                  |
| Palatabilidad<br>Refiere al uso de especies que sean, preferentemente, poco o nada palatables por los animales, para evitar fenómenos de bioacumulación de metales pesados en las redes tróficas.  | 2: Poco o nada palatables.<br>1: Palatabilidad desconocida.<br>0: Muy palatables.   | (Dalmasso, 2010; Beltrán y Gómez, 2015)  |
| Valor comercial<br>Especies que han sido caracterizadas con algún aspecto utilitario, a partir del cual se puede adquirir algún rédito económico.  | 2: Presentan valor utilitario.<br>1: Valor desconocido/estudio.<br>0: Sin valor utilitario.   | (Codina <i>et al.</i> , 2003; Saran <i>et al.</i> , 2023)                                    |
| Producción de biomasa aérea<br>Especies con hojas, sin importar el tamaño de la lámina foliar. Esta característica puede aportar, además del valor remediador, valor económico a partir de la producción de resinas o aceites.   | 2: Especies con hojas.<br>0: Especies áfilas.   | (Ravetta <i>et al.</i> , 1996; Zheljazkov <i>et al.</i> , 2008; Raveau <i>et al.</i> , 2021) |
| Adaptación a ambientes áridos<br>Refiere a las especies que pueden crecer con mínima intervención humana (solo un riego pos-asentamientos luego del transplante). Las especies adaptadas a estos ambientes toleran fuertes vientos, escasez de agua, suelos con baja materia orgánica y alta radiación, condiciones típicas de zonas áridas o semi áridas del país.                          | 2: Especies típicas de zonas áridas.<br>1: Especies naturalizadas.<br>0: Especies sensibles a los parámetros mencionados.   | (Mendez y Maier, 2008; Beider, 2012; Beider <i>et al.</i> , 2013)                            |
| Status<br>Basado en la clasificación de: nativa, endémica y exótica. El uso de especies nativas por sobre las exóticas para recuperar ambientes perturbados, es una estrategia que permite conservar la biodiversidad del sitio. Además, estas especies, al igual que las endémicas, están evolutivamente adaptadas a las severas condiciones que imponen los ambientes áridos y semiáridos. | 2: Nativas<br>1: Endémicas<br>0: Exóticas   | (Dalmasso, 2010; Salazar y Pignata, 2014; Marrugo-Negrete <i>et al.</i> , 2016)              |
| Ciclo de vida<br>En el caso de las especies perennes, al tener ciclos de vida más largos, en comparación con las anuales, tienen mayor tiempo de exposición a los contaminantes. Por otro lado, este tipo de especies logra desarrollar sistemas radiculares profundos y/o dimórficos, que son aptos para las condiciones de escases de agua.  | 2: Perennes<br>1: Bianuales<br>0: Anuales   | (Villagra <i>et al.</i> , 2011; Adamidis, <i>et al.</i> , 2017; Raveau <i>et al.</i> , 2021) |
| Hábitos de crecimiento<br>La vegetación de hábito arbustivo o subarbustivo permite mantener la estructura física de los paisajes y, en algunos casos, pueden ejercer efectos nodrizas en las nuevas especies que se implantan.   | 2: Arbustivas/subarbustivas<br>0: herbáceas   | (Beider <i>et al.</i> , 2013; Castro <i>et al.</i> , 2013)                                   |

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados

#### 3.1. Estudio del suelo y de la comunidad vegetal

De acuerdo con las propiedades fisicoquímicas y texturales (Tabla 2), los suelos se caracterizaron por ser arenosos, neutros o ligeramente alcalinos ( $\text{pH} > 7$ ), con una CE que no superó los 2 dS/m y un mayor contenido de cationes potásicos que sódicos. En Mina Santa Cruz se encontraron los valores más altos de CIC (19.4 cmolc./K) y de materia orgánica (18 %), superando en más de la mitad a los hallados en Mina Ethel y sitio Control.

**TABLA 2. Propiedades fisicoquímicas y texturales del suelo en los diferentes sitios muestreados**

| Propiedades fisicoquímicas y texturales    | Sitio Control | Mina Ethel | Mina Santa Cruz |
|--|---------------|------------|-----------------|
| pH en pasta                                | 7.9           | 7.8        | 7.8             |
| *CE (dS/m)                                 | 0.2           | 1.2        | 0.7             |
| **CIC (cmolc./K = meq./100g)               | 2.5           | 4.0        | 19.4            |
| Na intercambiable: (cmolc./kg = meq./100g) | 0.1           | 0.2        | 0.1             |
| K intercambiable: (cmolc./kg = meq./100g)  | 0.3           | 0.2        | 0.9             |
| Materia Orgánica (%)                       | 0.4           | 0.7        | 1.8             |
| Arcilla (%)                                | 2             | 2          | 2               |
| Limo (%)                                   | 4             | 10         | 11              |
| Arena (%)                                  | 94            | 88         | 87              |
| Textura                                    | arenosa       | arenosa    | arenosa         |

Fuente: elaboración propia. \* CE: Conductividad Eléctrica. \*\* CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

Respecto al contenido total de metales pesados (Tabla 3), no se pudo detectar cadmio con los métodos empleados. En los tres sitios, los valores más altos fueron manganeso en el orden de los 1054 a 2136 mg/kg, seguido de plomo entre 65 a 150 mg/kg y por último zinc, cuyos valores oscilaron entre 38 a 53 mg/kg. En comparación, en Mina Santa Cruz, el contenido de manganeso y plomo duplicó los valores hallados en los otros dos sitios. La concentración de zinc fue mayor en Mina Ethel, seguido por el Sitio Control y Mina Santa Cruz. Sobre la peligrosidad de estos compuestos, solo el plomo estaría en una concentración fitotóxica según lo establecido por la EPA (1992).

**TABLA 3. Concentración (mg/kg) de metales pesados en suelos**

| Determinaciones | Sitio Control | Mina Ethel | Mina Santa Cruz |
|-----------------|---------------|------------|-----------------|
| Cadmio          | *PLC          | PLC        | PLC             |
| Zinc            | 46.4          | 53.8       | 38.7            |
| Plomo           | 65.6          | 68.9       | 150.5           |
| Manganeso       | 1147.6        | 1054.2     | 2136.9          |

Fuente: Elaboración propia. \* PLC: por debajo límite de cuantificación. Como material de referencia certificado se utilizaron SRM2711 - Montana soil y RM-Agro E2002a - Suelo arenoso (EMBRAPA Pecuaria Sudeste, São Carlos, SP, Brasil). Recuperaciones: 80-120%.

En cuanto a la vegetación, en cada sitio minero se registró un total de 10 especies respectivamente, distribuidas en ocho familias botánicas. Las más representativas fueron: Asteraceae, con un total de seis especies y Poaceae, con tres especies, mientras que las demás familias se componen solamente por una o dos especies (Tablas 4 y 5).

TABLA 4. Especies vegetales relevadas en mina Ethel

| Especies vegetales  | Familia        | *Abu-Cob | Hábito               | Status   |
|---|----------------|----------|----------------------|----------|
| <i>Baccharis darwinii</i> Hook. & Arn.                            | Asteraceae     | 2        | Subarbusto (Perenne) | Nativa   |
| <i>Grindelia chiloensis</i> (Cornel.) Cabrera                     | Asteraceae     | 1        | Subarbusto (Perenne) | Endémica |
| <i>Junellia seriphiooides</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) Moldenke | Verbenaceae    | 2        | Arbusto (Perenne)    | Nativa   |
| <i>Larrea divaricata</i> Cav.                                     | Zygophyllaceae | 2        | Arbusto (Perenne)    | Nativa   |
| <i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapov.                    | Malvaceae      | +        | Hierba (Perenne)     | Endémica |
| <i>Neosparton aphyllum</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) Kunze       | Verbenaceae    | 2        | Arbusto (Perenne)    | Endémica |
| <i>Pappostipa humilis</i> (Cav.) Romasch.                         | Poaceae        | 1        | Hierba (Perenne)     | Endémica |
| <i>Senecio filaginoides</i> DC. var. <i>filaginoides</i>          | Asteraceae     | 1        | Arbusto (Perenne)    | Endémica |
| <i>Senecio subulatus</i> D. Don ex Hook. & Arn.                   | Asteraceae     | 1        | Arbusto (Perenne)    | Endémica |
| <i>Sporobolus rigens</i> (Trin.) E. Desv var. <i>rigens</i>       | Poaceae        | 2        | Hierba (Perenne)     | Nativa   |

Fuente: elaboración propia. \* Abu-Cob = Abundancia Cobertura.

TABLA 5. Especies vegetales relevadas en mina Santa Cruz

| Especies vegetales  | Familia        | *Abu-Cob | Habito                         | Status   |
|---|----------------|----------|--------------------------------|----------|
| <i>Acanthostyles buniifolius</i> (L.) R.M. King & H. Rob.     | Asteraceae     | 3        | Arbusto (Perenne)              | Nativa   |
| <i>Azorella prolifera</i> (Cav.) G.M. Plunkett & A.N. Nicolas | Apiaceae       | 3        | Subarbusto (Perenne)           | Nativa   |
| <i>Denmoza rhodacantha</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose         | Cactaceae      | 1        | Subarbusto suculento (Perenne) | Endémica |
| <i>Hyalis argentea</i> D. Don ex Hook. & Arn.                 | Asteraceae     | +        | Subarbusto (Perenne)           | Endémica |
| <i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.                                | Poaceae        | 3        | Hierba (Perenne)               | Nativa   |
| <i>Larrea divaricata</i> Cav.                                 | Zygophyllaceae | 2        | Arbusto (Perenne)              | Nativa   |
| <i>Pappostipa humilis</i> (Cav.) Romasch.                     | Poaceae        | 2        | Hierba (Perenne)               | Endémica |
| <i>Neltuma flexuosa</i> DC. var. <i>depressa</i>              | Fabaceae       | 2        | Arbusto (Perenne)              | Endémica |
| <i>Senecio filaginoides</i> DC. var. <i>filaginoides</i>      | Asteraceae     | 2        | Arbusto (Perenne)              | Endémica |
| <i>Senecio subulatus</i> D. Don ex Hook. & Arn.               | Asteraceae     | 2        | Arbusto (Perenne)              | Endémica |

Fuente: elaboración propia. \* Abu-Cob = Abundancia Cobertura

Se observó una fisonomía arbustiva con una distribución en parches. La cobertura total en promedio en ambos sitios no superó el 50 % según la escala de Braun – Blanquet. En Mina Ethel, la mitad de las especies alcanzaron la mayor cobertura representada con el índice dos (cobertura de entre 5-25 %) y correspondió a: *Baccharis darwinii*, *Junellia seriphiooides*, *Larrea divaricata*, *Neosparton aphyllum* y *Sporobolus rigens*. El resto, cuatro alcanzaron un valor de uno (cobertura de menor al 5 %): *Grindelia chiloensis*, *Pappostipa humilis*, *Senecio filaginoides* var. *filaginoides* y *S. subulatus*. La de menor cobertura estuvo representada con el símbolo + y fue para *Lecanophora heterophylla*. En Mina Santa Cruz, tres especies alcanzaron la mayor cobertura que se registró con el índice tres (coberturas entre un 25-50 %): *Acanthostyles buniifolius*, *Azorella prolifera* y *Jarava ichu*; seguido por las especies *Pappostipa humilis*, *Neltuma flexuosa*, *Senecio filaginoides* var. *filaginoides* y *S. subulatus* con coberturas representadas con el índice dos. La de menor cobertura (+) fue *Hyalis argentea*.

El índice de potencialidad de remediación determinó que la mitad de las especies (8 de 16) alcanzó un potencial medio catalogado entre 7-12 puntos, y estuvo representado por las especies: *J. ichu*, *J. seriphiooides*, *P. humilis*, *N. aphyllum*, *B. darwinii*, *A. buniifolius*, *A. prolifera*, *H. argentea*, *L. heterophylla* (Tabla VI). En tanto que los 8 restantes se clasificaron como especies con alto potencial con valores entre 13-18 puntos: *S. filaginoides*, *S. subulatus*, *S. rigens*, *D. rhodacantha*, *N. flexuosa* var. *depressa*, *G. chiloensis* y *L. divaricata*, siendo esta última la única en alcanzar el máximo puntaje.

TABLA 6. Clasificación de las especies vegetales según su potencial remediador

| Especies                         | *Criterios |   |   |   |   |   |   |   |   |  | Puntaje |
|----------------------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---------|
|                                  | A          | B | C | D | E | F | G | H | I |  |         |
| <i>J. ichu</i>                   | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |  | 7       |
| <i>J. seriphoides</i>            | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 8       |
| <i>P. humilis</i>                | 1          | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |  | 9       |
| <i>N. aphylum</i>                | 1          | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 8       |
| <i>B. darwinii</i>               | 1          | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 11      |
| <i>A. buniifolius</i>            | 1          | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |  | 12      |
| <i>A. prolifera</i>              | 1          | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 12      |
| <i>H. argentea</i>               | 1          | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 12      |
| <i>L. heterophylla</i>           | 1          | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 |  | 12      |
| <i>S. rigens</i>                 | 1          | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |  | 13      |
| <i>S. filaginoides</i>           | 1          | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 13      |
| <i>S. subulatus</i>              | 1          | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 13      |
| <i>D. rhodacantha</i>            | 2          | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 14      |
| <i>N. flexuosa var. depressa</i> | 2          | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |  | 15      |
| <i>G. chiloensis</i>             | 1          | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |  | 17      |
| <i>L. divaricata</i>             | 2          | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |  | 18      |

Fuente: Elaboración propia. \* Criterios: A, Respuesta a contaminantes; B, Cultivo; C, Palatabilidad; D, Valor comercial; E, Producción de biomasa aérea; F, Adaptación ambientes áridos; G, Status; H, Ciclo de vida; I, Hábitos de crecimiento.

#### 4. Discusión y conclusión

Las características fisicoquímicas y texturales en los suelos en las áreas mineras estudiadas coinciden con las descripciones realizadas por otros investigadores para zonas áridas o semiáridas del país (Dalmasso, 2010; Beider, 2012). En tanto que, los valores de cadmio, plomo y zinc fueron considerablemente más bajos en comparación con otros suelos mineros abandonados (Kirschbaum *et al.*, 2012; Rack *et al.*, 2017; Dours, 2018).

Respecto a los valores totales de metales pesados en suelos de uso agrícola, de acuerdo con lo establecido por la EPA (1992) y la Ley 24585/95 de actividad minera, las concentraciones de zinc y manganeso no serían fitotóxicas. No obstante valores de plomo entre 50 y 100 mg/kg son considerados fitotóxicos, por lo tanto, deben ser remediados (EPA, 1992) (EPA, 1992). En este estudio, los valores de Pb hallados en los suelos mineros superaron los 50 mg/kg y, por lo tanto, sería recomendable su remediación.

El estudio de la comunidad vegetal reveló que todas las especies presentes son compatibles con la estructura vegetal típica de la región del Monte: entre las especies dominantes se encuentran *Larrea divaricata*, observada en ambas zonas mineras, y otras especies acompañantes, como *Neltuma flexuosa var. depressa* (Rúgulo de Agrasar *et al.*, 2005). En ambos sitios se observó una fisonomía típicamente arbustiva, con escasa cobertura y distribución en parches, posiblemente asociados a zonas donde se concentra más humedad y materia orgánica, lo cual también es característico de ambientes áridos y semiáridos (Beider, 2012). En este tipo de ambientes, es de esperar que los arbustos ejerzan efectos nodrizas sobre otras especies ya que modifican las condiciones del suelo al reducir la erosión hídrica y los fuertes vientos, además colaboran en la retención de la humedad y el concentrado materia orgánica y semillas. En ambientes áridos o semiáridos, un ejemplo de lo expuesto son los arbustos *Larrea cuneifolia* y *Bulnesia schickendantzii*, cuya asociación espacial positiva entre ellos favorece la distribución de las cactáceas *Acanthocalycium thionanthum* y *Gymnocalycium spegazzinii*. Estos procesos tienden a facilitar el establecimiento de nuevas plántulas (Navarro, 2015), lo cual es fundamental para que se generen procesos de revegetación.

Más de la mitad de las especies censadas son endémicas. Según Martínez Carretero (2004) la riqueza endémica de La Payunia está relacionada a intensos procesos geológicos tales como glaciación y volcanismo, que han generado condiciones ecológicas muy particulares en esos ambientes. En general, la flora estuvo representada por 16 especies diferentes, distribuidas en ocho familias. Asteraceae y Poaceae, fueron las que presentan la mayor diversidad taxonómica dentro de la región de estudio, lo cual es un resultado promisorio dado que existen antecedentes que muestran que ambas familias tienen la capacidad de acumular metales pesados (Meers *et al.*, 2010; Salazar, 2014; Chaplygin *et al.*, 2020).

La selección de especies vegetales mediante evaluación por diferentes atributos es una metodología de trabajo que ya ha sido implementada por otros investigadores. Por ejemplo, Ramírez-Hernández *et al.*, (2012) desarrollaron y aplicaron una matriz metodológica para escoger, mediante la valoración de diferentes atributos morfo-ecológicos, especies silvestres con posible aplicación ornamental. Dalmasso (2010) también realizó la pre-selección de especies para tareas de revegetación de zonas críticas de ambientes áridos, a

partir de la elaboración de un Índice de Selección de Especies (ISE). Dicho índice está basado en atributos que involucran la disponibilidad y manejo de las especies y la adaptabilidad y función ecológica. No obstante, y hasta el momento en que se realizó dicha investigación, no se encontraron antecedentes bibliográficos que permitan facilitar la pre-selección de especies mediante la clasificación de su potencialidad remediadora, por lo que este trabajo aborda por primera vez la aplicación de un instrumento de valoración para selección de especies vegetales con potencial remediador.

Con base a la valoración teórica-visual realizada, todas las especies fueron clasificadas con potencial de remediación de medio a alto, sin embargo y hasta la realización de este trabajo, se desconoce la respuesta de las especies censadas frente a la presencia de los metales pesados, dado que no hay antecedentes científicos que den cuenta de la capacidad de translocar, tolerar y/o acumular dichos contaminantes. No obstantes, para este atributo, las únicas especies en obtener la máxima puntuación fueron *L. divaricata*, *N. flexuosa* y *D. rhodacantha* ya que han sido registradas en sitios mineros, por lo que se infiere que podrían tolerar la presencia de metales pesados en suelo (Relevamiento de cactáceas en la provincia de Catamarca 2011; Martínez 2017). Por otro lado, *Larrea tridentata*, especie emparentada con *L. divaricata*, cuyo puntaje de potencialidad remediadora fue el máximo, ha sido utilizada para eliminar y recuperar iones metálicos, tales como plomo (II) y cromo (III) en aguas contaminadas (Gardea-Torresdey et al., 1995), y para absorber cobre, plomo, cadmio y níquel de suelos contaminados (Gardea-Torresdey et al., 1996).

En cuanto a *G. chiloensis*, *H. argentea*, *S. subulatus* y *S. filaginoides* han sido utilizadas con éxito para la revegetación de zonas áridas, en su mayoría degradadas por la actividad petrolera (Dalmasso, 2010; Beider, 2012; Castro et al., 2013; Masini, 2016) por lo que se perfilan como candidatas en tareas de remediación minera ya que, ambas actividades conviven en territorios con características ambientales similares (Andrade, 2012).

Los proyectos de revegetación requieren abundante material vegetal, y aunque esto no representa un problema con especies comerciales, la producción de especies nativas en viveros comerciales es limitada (Santibáñez Varnero, 2018). Esto se debe en parte, al desconocimiento de sus características reproductivas (Peano, 2016). Según la literatura científica, del total de especies censadas, las que están en proceso de viverización son: *G. chiloensis*, *P. flexuosa* var. *depressa*, *P. humilis*, *S. filaginoides* y *L. divaricata* (Beider, 2012; Masini et al., 2016; Peano, 2016), mientras que: *S. subulatus*, *L. heterophylla* y *D. rhodacantha* están en estudio (Ponce et al., 2006; Masini et al., 2016; Almada, 2019). Promover la selección y cultivo de especies nativas y/o endémicas para futuros proyectos de remediación permitirá generar más conocimientos sobre formas de cultivo y propagación, lo que a su vez resultará beneficioso como estrategia de conservación.

La palatabilidad es otro de los atributos a considerar en las especies fitorremedadoras, por lo que, en la selección, se prefieren aquellas que son no palatables (Singh et al., 2022). En este caso los resultados indican que, más de la mitad de las especies pueden ser consideradas como un recurso alimenticio para los herbívoros. Muchas plantas son consumidas sólo cuando los animales son forzados a ello, debido a reducciones severas en la disponibilidad de otros recursos. Por otro lado, algunas especies se catalogan como no palatables debido a la presencia de compuestos que puede resultar tóxicos, sin embargo, la toxicidad puede ser una característica que varía según el estado fenológico de la planta y las variaciones climáticas del lugar (Muiño, W.A. (2010). El uso de las plantas silvestres por la comunidad de Chos Malal. (Provincia de La Pampa), tesis de doctorado, Argentina, Universidad Nacional de La Plata.). De esta manera, en presencia de una especie de dudosa palatabilidad sería preferible utilizar cercado perimetral, aunque esto puede aumentar significativamente los costos de trasplante (Dalmasso, 2010).

Sobre el uso económico de vegetación para futuros proyectos de dinamización de las economías pos-mineras, se sabe que: *N. flexuosa* var. *depressa*, *B. darwinii* y *L. divaricata*, presentan utilidad en el área de la farmacología (Kurdela et al., 2010; Palacio et al., 2012; Ardoino et al., 2013), en tanto que *G. chiloensis* posee aplicaciones a nivel industrial (Wassner y Ravetta, 2000) así como también medicinal, ornamental y comestible (Rovere y Morales, 2013). La especie *A. prolifera* es mencionada como recurso energético, forrajero y medicinal (Rovere y Morales, 2013), mientras que *H. argentea*, *S. subulatus*, *S. filaginoides*, *D. rhodacantha*, y *L. heterophylla* son empleadas en la xerojardinería y revegetación de zonas áridas (Ponce et al., 2006; Méndez, 2007; Dalmasso, 2010; Masini et al., 2016) y *S. rigens* para cestería (Katzer y Gascón, 2019).

Respecto a la producción de biomasa aérea, al estar adaptadas a ambientes áridos es esperable que la vegetación desarrolle hojas pequeñas, espinas o que directamente sean áfilas como *D. rhodacantha*. La biomasa aérea de plantas aromáticas remediadoras puede utilizarse con fines económicos, por ejemplo, en la producción de aceites esenciales. Sarán et al., (2022) emplearon a *H. petiolaris* en la remediación de suelos con más de 400 mg/kg de plomo y luego midieron la cantidad de aceite producido. Si bien las plantas de los sitios contaminados produjeron significativamente menos aceites esenciales (0.014 ml) que las cultivadas en sitios no contaminados (0.14 ml), la composición química fue parecida en ambos casos. Además, reportaron que no se detectó plomo en el aceite esencial obtenido. Sin embargo, se detectó mayor concentración de plomo en el residuo vegetal (luego de la extracción del aceite esencial) en las plantas de los sitios contaminados (23.57 mg Pb/kg de residuo vegetal) en comparación a las que crecían en el sitio no contaminado (2.18 57 mg Pb/kg de residuo vegetal), lo que indicaría que el plomo está fuertemente secuestrado en el tejido de la planta. Por otro lado, Lydakis-Simantiris et al., (2016) encontraron que, las plantas aromáticas como manzanilla (*Matricaria recutita*), salvia (*Salvia officinalis*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) acumulaban en sus raíces un amplio rango de concentraciones de cadmio (entre 1 a 48 mg/kg), plomo (8 a 153 mg/kg) y níquel (4 a 288 mg/kg) mientras que sus aceites estaban libres de la presencia de metales pesados.

Todas las especies censadas están adaptadas a los ambientes áridos y semi áridos del país, por lo que son factibles de ser utilizadas en la remediación de estos sitios. Su adaptación les permite vivir en presencia de fuertes vientos, alta radiación solar y en suelos con escasa humedad y materia orgánica, condiciones que para cualquier otra especie podrían ser muy restrictivas o incluso letales (Beider, 2012). Por otro lado, en la aplicación de las técnicas de fitoremedición se requiere conocer el funcionamiento del ecosistema, en donde las especies nativas y endémicas cumplen un rol fundamental y por lo tanto se debería favorecer su elección en lugar de las exóticas, las cuales deberían ser consideradas bajo ciertas condiciones y evaluados de forma muy cuidadosa (Yoon *et al.*, 2006; Peña-Salamanca *et al.*, 2013; Santibáñez Varnero, 2018).

En su gran mayoría, las especies en ambas minas son perennes lo que garantiza que los sitios en donde se las cultiven estén cubiertos con vegetación un tiempo mucho más prolongado, en comparación, a la persistencia de una especie anual. Por otro lado, se ha observado que, en el caso de las especies anuales hiperacumuladoras de metales pesados, las cosechas pueden no proporcionar mayores rendimientos en su potencial de fitoextracción en comparación con las cosechas perennes (Adamidis *et al.*, 2017).

Se concluye, de acuerdo con el objetivo planteado, que los sitios estudiados poseen una diversidad de especies vegetales con potencial fitoremediador, apta para ser utilizada en suelos impactados por la minería metalífera. Sin embargo, se requiere completar la valoración de desempeño con estudios de laboratorio y campo para confirmar la acumulación/translocación y/o tolerancia a la presencia de los metales pesados.

Para las zonas áridas y semiáridas del país que han sido explotada por la actividad minera y que por lo tanto deben ser fitoremediadas, la aplicación de la técnica de valoración de potencialidad remediadora intenta optimizar la bioprospección y la pre-selección de especies además de ampliar los conocimientos acerca de nuevos recursos vegetales no exóticos.

La metodología de valoración de este trabajo puede aplicarse en otros países que enfrentan desafíos similares en la remediación de ambientes post-mineros, debido a que los atributos evaluados se basan en características morfológicas, ecológicas y productivas adaptables a diversos contextos de bioprospección.

## 5. Fuentes de financiación

Este trabajo fue apoyado por el Banco Iberoamericano de Desarrollo bajo el proyecto FONTAGRO [ATN/RF-16110-RG].

## 6. Declaración de la contribución por autoría

Lucía Fernández: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Walter Alejandro Muiño: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Anabel Saran: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Validación, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Luciano José Merini: Conceptualización, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

## 7. Referencias bibliográficas

- Abaca, J. y Vedia, L. (2015): *El malargüinazo*. Disponible en: <https://acortar.link/8cF9mP>
- Adamidis, G.C., Aloupi, M., Mastoras, P., Papadaki M.-I., y Dimitrakopoulos, P.G. (2017): "Is annual or perennial harvesting more efficient in Ni phytoextraction?" *Plant Soil*, 418, pp. 205–218. Disponible en: <http://10.1007/s11104-017-3287-9>
- Alcaraz Ariza, F.J. (2013): *El método fitosociológico*. Geobotánica, Universidad de Murcia, España
- Almada, G.R. (2019): *Efecto de la temperatura y la salinidad en la germinación de las especies Echinopsis leucantha y Denmoza rhodacantha para un uso potencial en actividades de restauración en la provincia de Mendoza*, Tesis de grado, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina. Disponible en: <https://bdigital.uncu.edu.ar/13447>
- Andrade, L. (2012): "Producción y ambiente en la Meseta Central de Santa Cruz, Patagonia austral en Argentina: desencadenantes e impacto de la desertificación", *Ambiente y Desarrollo*, XVI(30), pp. 73-92. Código SICI: 0121-7606(201206)16:30<73:PAMCSC>2.0.TX;2-J
- Ardoino, S.M., Boeris, M.A. y Toso, R.E. (2013): "Caracterización fitoquímica de *Prosopis flexuosa* var. *flexuosa* (algarrobo) y *Prosopis flexuosa* var. *depressa* (alpataco), plantas con acción farmacológica", *Revista Ciencias Veterinarias*, 15(1), pp. 115-125. Disponible en: <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/4380>
- Bacchetta, G., Cappai, G., Carucci, A., y Tamburini, E. (2015): "Use of native plants for the remediation of abandoned mine sites in mediterranean semiarid environments", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(3), pp. 326–333. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1467-y>
- Barrutia, O., Artetxe, U., Hernández, A., Olano, J.M., García-Plazaola, J.I., Garbisu, C., y Becerril, J.M. (2011): "Native plant communities in an abandoned pb-zn mining area of northern Spain: Implications for Phytoremediation and Germplasm Preservation". *International Journal of Phytoremediation*, 13(3), pp. 256–270. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226511003753946>

- Becerril, J.M., Barrutia, O., García Plazaola, J.L., Hernández, A., Olano, J.M. y Garbisu, C. (2007): "Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitoremediaciación", *Revista Ecosistemas*, 16(2), pp. 50-55. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Beider, A. (2012): "Viverización de especies nativas de zonas áridas", *EXPERIMENTIA-Revista de Transferencia Científica*, (2), pp. 1-67.
- Beider, A., Ciano, N. y Zerrizuela, R. (2013): "Revegetación artificial de taludes de locaciones en corte en la cuenca del Golfo San Jorge". En R.D., Pérez, A.E. Rovere y M.E., Araujo (Eds), *Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina*, 1a ed., Buenos Aires, Vázquez Mazzini, pp. 213-224.
- Beltrán, M. y Gómez, A. (2015): "Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación", *Revista I3+*, 2(2), pp. 82-12. Disponible en: <https://doi.org/10.24267/23462329.113>
- Boelcke, O., Moore, D.M. y Roig, F.A. (1985): *Transecta botánica de la Patagonia austral*, CONICET (Argentina), Royal Society (UK) e Instituto de la Patagonia (Chile).
- Boucher, H. y Pereyra, M. S. (2020): "Conservación de la peperina (*Minthostachys verticillata*): promoción del cultivo doméstico, paisajismo ecosistémico y agregado de valor", *Nexo Agropecuario*, 8(2), pp. 1-7. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/30116>
- Branzini, A. y Zubillaga, M.S. (2010): "Assessing Phytotoxicity of Heavy Metals in Remediated Soil", *International Journal of Phytoremediation*, 4(12), pp. 335-342. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226510902968126>
- Carter, M.R. y Gregorich, E.G. (Eds). (2007): *Soil sampling and methods of analysis*, 2ed., Canadian Society of Soil Science. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781420005271>
- Castro Mariscal, R.J., Saavedra, O.N., Wierna, N.R., Martos, A.J., Rojas, A.M. y Mitre Bovi, G.M. (2010): "Metodología para caracterizar el riesgo en sitio contaminado. Caso Abra Pampa (Jujuy-Argentina)", *Revista de Salud Ambiental*, X(1-2), pp. 65-72. Disponible en: <https://ojs.diffudit.com/index.php/rsa/article/view/189>
- Castro, M.L., Zuleta, G.A., Pérez, A.A., Ciano, M.E., Tchilinguirian, P. y Escartín, C.A. (2013): "Rehabilitación de estepas arbustivas en locaciones petroleras del Monte Austral. Evaluación de la técnica de escarificado I: vegetación", En D.R. Pérez, A. E. Rovere y M.E. Rodriguez Araujo, eds., *Restauración ecológica en la diagonal árida de la Argentina*, 1a ed., Buenos Aires, Vázquez Mazzini, pp. 225-245. Disponible en: <https://doi.org/10.35537/10915/120842>
- Catálogo de Plantas Vasculares del Cono Sur (IBODA, s.f). Disponible en: <https://acortar.link/QuB1kB>
- Chaplygin, V., Mandzhieva, S., Minkina, T., Sushkova, S., Barahov, A., Nevidomskaya, D., Kızılıkaya, R., Gülser, C., Chernikova, N., Mazarji, M., Iljina, L. y Rajput, V. (2020): "Accumulating capacity of herbaceous plants of the Asteraceae and Poaceae families under technogenic soil pollution with zinc and cadmium", *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(2), pp. 165 – 172. Disponible en: <https://doi.org/10.18393/ejss.707659>
- Codina, R. A., Carrieri, S. A., Manzano E. R. y Fioretti, S.B. (2003): "Paisajismo sustentable en zonas áridas especies útiles para parquizaciones xéricas", *Revista FCA UNCuyo*, XXXV(2), pp. 33-44. Disponible en: <http://bdigital.uncu.edu.ar/1748>
- Correa, M.N. (1999): *Flora Patagónica. Parte VI. Dicotiledones. Gamopétalas (Ericaceae a Calyceraceae)*, Buenos Aires, Colección Científica del INTA.
- Dalmasso, A.D. (2010): "Revegetación de áreas degradadas con especies nativas", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 45(1-2), pp. 149-171. Disponible en: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185123722010000100011&script=sci\\_arttext&tlang=pt](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185123722010000100011&script=sci_arttext&tlang=pt)
- Delgadillo-López, A.E., González-Ramírez, C.A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J.R. y Acevedo-Sandova, O. (2011): "Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), pp. 597-612. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13052574>
- Dours, M. (2018): *Remediación de un suelo contaminado con residuos de una mina de oro abandonada en La Planta-Marayes (San Juan) mediante la aplicación de enmiendas*, Tesis de grado, Buenos Aires, Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Drozdova, I., Alekseeva-Popova, N.V., Dorofeyev, V.I., Bech, J., Belyaeva, A. y Roca, N. (2019): "A comparative study of the accumulation of trace elements in Brassicaceae plant species with phytoremediation potential", *Applied Geochemistry*, 108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104377>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1992): *Methods for the determination of metals in environmental samples. Method 2008, Supplement 1 (EPA 600/R-94/111)*, Cincinnati, Environmental Monitoring Systems Laboratory.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1996): *Soil screening guidance: user's guidance. Office of solid waste and emergency response*, Washington DC, US EPA.
- Gao, T., Wang, H., Li, C., Zuo, M., Wang, X., Liu, Y., Yang, Y., Xu, D., Liu, Y. y Fang, X. (2022): "Effects of heavy metal stress on physiology, hydraulics, and anatomy of three desert plants in the Jinchang mining area, China", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 15873. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph192315873>
- García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent C., Molina-Ruiz J. y Martínez-Sánchez M.J. (2014): "Mobility indices for the assessment of metal contamination in soils affected by old mining activities", *Journal of Geochemical Exploration*, 147(Part B), pp. 117-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.06.012>
- González-Chávez, M.C.A., Carrillo-González, R. y Sánchez-López, A.S. (2017): "Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitoremediaciación de suelos", *Agroproductividad*, 10(4), pp.

- 3-7. Disponible en: <https://mail.revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/987/845>
- Guevara, J.C., Allegretti, L.I., Estevez, O.R., Cony, M.A., y Páez, J. A. (2011): "Receptividad ganadera de los pastizales naturales de cuatro áreas de la Payunia, Mendoza, Argentina", *Multequina*, 20(2), pp. 97-110. Disponible en [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185273292011000200002&lng=es&tlang=pt](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185273292011000200002&lng=es&tlang=pt)
- Hasnaoui, S.E., Fahr, M., Keller, C., Levard, C., Angeletti, B., Chaurand, P. y Smouni, A. (2020): "Screening of native plants growing on a pb/zn mining area in eastern Morocco: perspectives for phytoremediation", *Plants*, 9(11), pp. 1-23. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants9111458>
- Hoang Ha, N.T., Sakakibara, M., Sano, S., Hori, R.S. y Sera, K. (2009): "The Potential of *Eleocharis acicularis* for Phytoremediation: Case Study at an Abandoned Mine Site", *Clean*, 37(3), pp. 203-208. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/clen.200900009>.
- Islam, M., Saxena, N y Sharm, D. (2024): "Phytoremediation as a green and sustainable prospective method for heavy metal contamination: a review", *RSC Sustainability*, 2, pp. 1269-1288. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/d3su00440f>
- Jankaité, A. y Vasarevičius, S. (2007): "Use of Poaceae f. species to decontaminate soil from heavy metals", *Ekologija*, 53(4), pp. 84-89. Disponible en: [https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A12%3A3671980/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A29962357&crl=c&link\\_origin=scholar.google.com.ar](https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A12%3A3671980/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A29962357&crl=c&link_origin=scholar.google.com.ar)
- Jogawat, A., Yadav, B. y Chhaya Narayan, O.P. (2021): "Metal transporters in organelles and their roles in plants' heavy metal transportation and sequestration mechanisms", *Physiol Plant*, 173(1), pp. 259-275. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ppl.13370>
- Katzer, L. y Gascón, M. (2019): "Los Huarpes de Lavalle (Mendoza, Argentina). Territorio, recursos naturales y gubernamentalidad", *Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos*, 5(1), pp.1-14. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/126262>
- Kirschbaum, A., Murray, J. y Armosio, M. (2012): "Pasivos ambientales mineros Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), pp. 248-264. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S102687742012000100017&script=sci\\_abstract&tlang=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S102687742012000100017&script=sci_abstract&tlang=pt)
- Kurdelas, R., López, S.B., Lima, B. y Feresin, G.B. (2010): "Chemical composition, antimicrobial and anti-insect activity of the Baccharis darwinii essential oil from Argentine Patagonia", *Industrial Crops and Products*, 40(1), pp.261-267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.024>
- Lavandaio, E.O.L. (2014): *Conozcamos más sobre minería. Serie Publicaciones N° 168. 2da ed.* Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires. Disponible en: <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2794>
- Ley 24.585 (1995): *De la Actividad Minera-Impacto Ambiental*, Boletín Oficial, Noviembre 24 de 1995
- Lydakis-Simantiris, N., Fabian, M. y Skoula, M. (2016): "Cultivation of medicinal and aromatic plants in heavy metal-contaminated soils", *Global NEST Journal*, 18(3), pp. 630-642. Disponible en: [https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest\\_01829/gnest\\_01829\\_proof.pdf](https://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest_01829/gnest_01829_proof.pdf)
- Mallimacci, H., Carpio, F. y Rubinstein, N. (2010): "Carta minero metalogenética 3769-II Agua Escondida. Provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino", Boletín 387, pp.57. Disponible en: <http://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/318>
- Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., y Díez, S. (2016): "Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site", *Science of the total environment*, 542, pp. 809-816. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.117>
- Martínez Carretero, E. (2004): "La provincia fitogeográfica de La Payunia", *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 39(3.4), pp. 195-226. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107975>
- Martínez, M.B. (2017): *Determinación de comunidades vegetales del monte en un ambiente de pasivos ambientales mineros*, Tesis de grado, Argentina, Universidad Nacional De San Juan.
- Martínez-Manchego, L., Sarmiento-Sarmiento, G., y Bocardo-Delgado, E. (2021): "Native plant species with potential for the phytoremediation of high-andean soils contaminated by residues from mining activity", *Bioagro*, 33(3), pp. 161-170. Disponible en: <https://doi.org/10.51372/bioagro333.2>
- Masini, A.C.A., Rovere, A.E., y Pirk, G.I. (2016): "Germinación de Gutierrezia solbrigii, asteráceas endémicas de Argentina", *FYTÓN*, 85, pp. 314-323. Disponible en: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185156572016000200020&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185156572016000200020&script=sci_arttext)
- Meers, E., Slycken, S.V., Adriaensen, K., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Laing, G.D., Witters, N., Thewys, T., y Tack, F. (2010): "The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment", *Chemosphere*, 78(1), pp. 35-41. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.015>
- Méndez, E. (2007): "Germination of Denmoza rhodacantha (Salm-Dyck) Britton y Rose (Cactaceae)", *Journal of Arid Environments*, 68, pp. 678-682. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.07.011>
- Mendez, M. O. y Maier, R. M. (2008): "Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments - an emerging remediation technology", *Environmental Health Perspectives*, 116(3), pp. 278-283. Disponible en: <https://doi.org/10.1289/ehp.10608>.
- Moreno Morales, C. y Chaparro Ávila, E. (2009): "Las leyes generales del ambiente y los códigos de minería de los países andinos. Instrumento de gestión ambiental y minero ambiental", Santiago de Chile, Chile,

- CEPAL-Serie de Recursos naturales e infraestructura y Naciones Unidas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11362/6339>
- Navarro, C.J. (2015): *Evaluación del efecto de las plantas nodrizas en el sector oriental del Valle de Santa María, desierto del Monte (Tucumán-Argentina)*, Tesis de grado, Argentina, Universidad de Tucumán.
- Noor, I., Sohail, H., Sun, J., Nawaz, M.A., Li, G., Hasanuzzaman, M. y Liu, J. (2022): "Heavy metal and metalloid toxicity in horticultural plants: Tolerance mechanism and remediation strategies", *Chemosphere*, 303(Pt 3), pp. 135-196. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135196>
- Palacio, L., Cantero, J.J., Cusidó, R. y Goleniowski, M.E. (2012): "Phenolic compound production in relation to differentiation in cell and tissue cultures of Larrea divaricata (Cav.)", *Plant Science*, 193-194, pp. 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.007>
- Patra, D.K., Acharya, S., Pradhan, C. y Patra, H.K. (2021): "Poaceae plants as potential phytoremediators of heavy metals and eco-restoration in contaminated mining sites", *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101293, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101293>
- Peano, A. (2016): *Producción de plantines de calidad de Larrea divaricata Cav. Para proyectos de restauración ecológica*, Tesis de grado, Argentina, Universidad Nacional del Comahue.
- Peña-Salamanca, E.J., Madera-Parra, C.A., Sánchez, J.M. y Medina-Vásquez, J. (2013): "Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae)", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 37(145), pp. 469-481. Disponible en: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.29>
- Perelman, S., William, S.S. y Roldán, R.R.C. (2005): "El estudio de la heterogeneidad de la vegetación. Fitosociología y técnicas relacionadas", Buenos Aires, IFEVA, Universidad de Buenos Aires y CONICET. Disponible en: <https://bit.ly/3RfbUXQ>
- Ponce, M.T., Videla, E., Fioretti, S. y Galat, E. (2006): "Propagación de Lecanophora heterophylla. Especie nativa con potencial ornamental", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, XXXVIII(2), pp. 91-100.
- Rack, M.G., Nillni, A.M., Do Campo, M.D., Valenzuela, M.F. y Ferro, L.F. (2017): "Presencia de metales pesados en un suelo aledaño a una escombrera polimetálica en mina la ferrocarrilera, Lago Fontana. Chubut, Argentina", *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 131 (5), pp. 81-85. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/43522>
- Raklami, A., Meddich, A., Oufdou, K. y Baslam, M. (2022): "Plants-Microorganisms-Based Bioremediation for Heavy Metal Cleanup: Recent Developments, Phytoremediation Techniques, Regulation Mechanisms, and Molecular Responses", *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), pp. 5031. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms23095031>
- Ramírez-Hernández, S.G., Pérez-Vázquez, A., García-Albarado, C., Gómez-González, A. y de la Cruz Vargas-Mendoza, M. (2012): "Criterios para la selección de especies herbáceas ornamentales para su uso en paisajismo", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1), pp. 71-79. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027152X2012000100005&script=sci\\_abstract&tlang=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027152X2012000100005&script=sci_abstract&tlang=pt)
- Raveau, R., Fontaine, J., Bert, V., Perlein, A., Tisserant, B., Ferrant, P., Lounès, A., y Sahraoui H. (2021): "In situ cultivation of aromatic plant species for the phytomanagement of an aged-trace element polluted soil: plant biomass improvement options and techno-economic assessment of the essential oil production", *Science of the Total Environment*, 789, pp. 147944. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147944>.
- Ravetta, D.A., Anouti A. y McLaughlin S.P. (1996): "Resin production of Grindelia accessions under cultivation", *Industrial Crops and Products*, 5, pp. 197-201. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(96\)89449-0](https://doi.org/10.1016/0926-6690(96)89449-0)
- Relevamiento de cactáceas en la provincia de Catamarca. (2005): Gobierno de la provincia de Catamarca Consejo Federal de Inversiones Secretaría del Agua y el Ambiente, Subsecretaría Dirección de Recursos Naturales. Disponible en: <https://acortar.link/zJuuae>
- Rovere, A.E. y Morales, S. (2013): "Recuperación del capital natural remanente: el valor etnobotánico de especies del Monte y Payunia", en R.D., Pérez, A.E. Rovere y M.E., Araujo, eds., *Restauración ecológica en la diagonal dárida de la Argentina*, 1 ed., Buenos Aires, Vázquez Mazzini, pp. 440-450.
- Rúgulo de Agrasar, Z.E., Steibel, P.E. y Troiani, H.O. (2005): "Manual ilustrado de las gramíneas de la Provincia de La Pampa", 1 ed., La Pampa y Córdoba, Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa y Editorial de la Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Salazar, M.J. y Pignata, M.L. (2014): "Lead accumulation in plants grown in polluted soils. Screening of native species for phytoremediation", *Journal of Geochemical Exploration*, 137, pp. 29-36. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.11.003>
- Salazar, M.J., Wannaz, E.D., Blanco, A., Miranda Pazcel, E.M. y Pignata, M.L. (2020): "Pb tolerance and accumulation capabilities of Bidens pilosa L. growing in polluted soils depend on the history of exposure", *Chemosphere*, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128732>
- Santibáñez Varnero, C. (2018): "Inmovilización in situ de metales en suelos contaminados mediante fitostabilización", L. Brutti, M. Beltrán y I. García de Salamone, eds., *Biorremediación de los recursos naturales*, Buenos Aires, Ediciones INTA, pp. 339-366.
- Saran, A., Fernandez, L., Cora, F., Savio, M., Thijs, S., Vangronsveld, J., Merini, L. (2019): Phytostabilization of Pb and Cd polluted soils using *Helianthus petiolaris* as pioneer aromatic plant species, *International Journal of Phytoremediation*, 22(5), pp. 459-467. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1675140>
- Saran, A., Fernandez, L., Latini, C.Y., Bellozas Reinhard, M., Minig, M., Thijs, S., Vangronsveld, J. y Merini, L.J. (2022): "Phyto management of a lead-polluted shooting range using an aromatic plant species and its

- effects on the rhizosphere bacterial diversity and essential oil production”, *Plants*, 11, pp. 3024. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11223024>
- Saran, A., Much, D., Vangronsveld, J y Merini, L. (2023): “Phytomanagement of trace element polluted fields with aromatic plants: supporting circular bio-economies”, *International Journal of Phytoremediation*, 26(2), pp. 169-177. Disponible en: <https://doi:10.1080/15226514.2023.2231554>.
- Singh, S., Dhyani, S., Janipella, R., Chakraborty, S., Pujari, P.R., Shinde, V.M. y Singh, K. (2022): “Biomonitoring-Supported Land Restoration to Reduce Land Degradation in Intensively Mined Areas of India”, *Sustainability*, 14, pp. 13639. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142013639>
- Torri, S.I., Zubillaga, M y Cusato, M. (2009): “Potential of *Discaria americana* for metal stabilization on soils amended with biosolids and ash-spiked biosolids”, *International Journal of Phytoremediation*, 11(2), pp. 187-199. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226510802378475>
- Urretavizcaya, M.F., Contardil, L., Oyarçaball, M.F. y Pasquini, M. (2016): “Calidad de semillas de especies nativas del bosque andino patagónico de la provincia de Chubut y su importancia para la producción de plantines”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, 115(1), pp. 9-18. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/54164>
- Venkateswarlu, K., Nirola, R., Kuppusamy, S., Thavamani, P., Naidu, R., y Megharaj, M. (2016): “Abandoned metalliferous mines: ecological impacts and potential approaches for reclamation”, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(2), pp. 327-354. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9398-6>
- Villagra, P.E., Giordano, C., Alvarez, J.A., Cavagnaro, J.B., Guevara, A., Sartor, C., Passera, C.B. y Greco, S. (2011): “Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina”, *Ecología Austral*, 21(1), pp. 029-042. Disponible en: [https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecología\\_Austral/article/view/1294](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecología_Austral/article/view/1294)
- Wassner, D.F. y Ravetta, D.A. (2000): “Vegetative propagation of *Grindelia chiloensis* (Asteraceae)”, *Industrial Crops and Products*, 11(1), pp.7-10.
- Wilson, M.G., Andriulo, A. y Ligier, D. (2017): *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. Disponible en: <https://acortar.link/EKa6BM>
- Wu, B., Peng, H., Sheng, M., Luo, H., Wang, X., Zhang, R., Xu, F. y Xu, H. (2021): “Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 220, pp. 112368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. y Ma, L.Q. (2006): “Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site”, *Science of the Total Environment*, 368, pp. 456-464. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., Xing, B., Nielsen, N.E. y Wilcox, A. (2008): “Aromatic plant production on metal contaminated soils”, *Science of the total environment*, 395, pp. 51-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.01.041>
- Zimicz, C.C. (2016): “Las plantas y su capacidad para remediar sitios contaminados. Instituto de Bio y Geociencias del NOA”, *Temas de Biología y Geología del NOA*, 6(1), pp. 8-15. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/48535>