



"PROYECTO DE LEY QUE PROMUEVE EL USO DE LA FITORREMEDIACIÓN COMO TECNOLOGÍA AMBIENTAL SOSTENIBLE PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA CONTAMINADOS CON METALES PESADOS"

El Grupo Parlamentario ALIANZA PARA AL PROGRESO a iniciativa de la Congresista Magaly Ruíz Rodríguez, en uso de las facultades conferidas por los artículos 102° numeral 1), y 107° de la Constitución Política del Perú y en el inciso c) del Artículo 22°, 67°, 75° y 76° del Reglamento del Congreso de la República, propone el siguiente proyecto de Ley:

FORMULA LEGAL

"LEY QUE PROMUEVE EL USO DE LA FITORREMEDIACIÓN COMO TECNOLOGÍA AMBIENTAL SOSTENIBLE PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS Y CUERPOS DE AGUA CONTAMINADOS CON METALES PESADOS"

Artículo 1. Objeto de la Ley

La presente ley tiene por objeto promover e incorporar el uso de la fitorremediación como una tecnología ambiental sostenible para la recuperación y remediación de suelos y cuerpos de agua contaminados con metales pesados en el territorio nacional.

Artículo 2. Ámbito de aplicación

La ley es aplicable únicamente a las empresas responsables y competentes en la recuperación y remediación de suelos y cuerpos de agua de ecosistemas contaminados.

Artículo 3. Definición de fitorremediación

Para efectos de esta ley, se entiende por fitorremediación el uso de especies vegetales con capacidad de absorber, acumular, estabilizar o degradar contaminantes presentes en el suelo o agua, con el fin de restaurar ecosistemas afectados.

Artículo 4. Inclusión de la Fitorremediación en los planes de Remediación Ambiental

La autoridad ambiental competente incluirá, como parte de las alternativas de remediación ambiental, el uso de técnicas de fitorremediación en los planes de recuperación de sitios contaminados, de acuerdo con los criterios y lineamientos técnicos establecidos en las guías aprobadas por el Ministerio del Ambiente.

Artículo 5. Promoción Científica

El Ministerio del Ambiente, en coordinación con instituciones académicas públicas y privadas, gobiernos regionales y locales, promoverá la ejecución de proyectos de investigación en la materia que permitan validar la viabilidad técnica de la planta seleccionada para la fitorremediación. En atención a:

- Requerimientos fisiológicos de crecimiento
- Condición de planta nativa
- Mecanismos de adaptación al ambiente contaminado

Lo cual permitirá que un mayor control sobre el éxito de la fitorremediación y un manejo altamente objetivo de la estrategia.

Artículo 6. Financiamiento y participación comunitaria

Los proyectos de fitorremediación podrán ser financiados con recursos públicos y privados, fondos ambientales, convenios de cooperación técnica o mecanismos de responsabilidad social de carácter nacional e internacional, sin demandar recurso adicional al Estado. Las comunidades locales deberán ser incluidas en las fases de implementación, monitoreo y mantenimiento, bajo un enfoque de empleo verde, participación intercultural y justicia ambiental.

Artículo 7. Promoción Económica e Innovación Agraria

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), como órgano competente en materia de promoción y diversificación agrícola, fomentará la producción de semillas y plántulas, así como el desarrollo de paquetes tecnológicos aplicables en distintos ecosistemas del país, con énfasis en zonas altoandinas, amazónicas y áreas degradadas por actividades extractivas mineras, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y los gobiernos regionales, para asegurar articulación institucional y evitar duplicidad de funciones.



Firmado digitalmente por:
ACUÑA PERALTA Maria
Grimaneza FAU 20161749126 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/10/2025 12:48:06-0500



Firmado digitalmente por:
SALHUANA CAVIDES Eduardo
FAU 20161749126 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18/09/2025 16:16:51-0500



Firmado digitalmente por:
SALHUANA CAVIDES Eduardo
FAU 20161749126 hard
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 18/09/2025 16:17:10-0500



Firmado digitalmente por:
RUIZ RODRIGUEZ Magaly
Rosmery FAU 20161749126 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/10/2025 11:40:57-0500



Firmado digitalmente por:
QUIROZ BARBOZA Segundo
Teodomiro FAU 20161749126 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 01/10/2025 12:56:51-0500



Firmado digitalmente por:
GARCIA CORREA Idelso
Manuel FAU 20161749126 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/10/2025 12:18:19-0500



Firmado digitalmente por:
HEIDINGER BALLESTEROS
Nelcy Lidia FAU 20161749126 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/10/2025 13:03:34-0500



Firmado digitalmente por:
CHIABRA LEON Roberto
Enrique FAU 20161749126 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/10/2025 13:07:22-0500

EXPOSICION DE MOTIVOS

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos y cuerpos de agua por metales pesados constituye uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública en el Perú ya que no se encuentra limitada a regiones que han sido históricamente asociadas al desarrollo de actividades extractivas como son: Pasco, Cajamarca, Cusco, Ayacucho, Huancavelica, etc. Sino que se ha extendido de manera sistemática a otros lugares. El principal problema con ello es que la afectación de ecosistemas acuáticos y terrestres no solo vulnera la supervivencia de especies de flora y fauna fundamentales para las economías locales y la biodiversidad nacional, sino que vulnera de manera notable el bienestar de miles de ciudadanos quienes ven restringidos derechos fundamentales.

Asimismo, si bien la normativa nacional contempla medidas determinadas a gestionar la materia desde la prevención, fiscalización y sanción como son: la Ley N° 27446 (Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental), la Ley N° 28090 (Plan de Cierre de Minas), Ley N° 28271 (Ley de Pasivos Ambientales), etc. ***Se ha identificado un vacío relevante en relación a la existencia de mecanismos de remediación o recuperación efectivos.*** Los cuales puedan ser eficientemente aplicados a entornos diversos tomando en cuenta las necesidades particulares de acuerdo al tipo de contaminación y el nivel de degradación de los ecosistemas sin que ello demanda el uso de un número considerable de recursos.

En ese marco, la fitorremediación que se sustenta sobre el uso de especies vegetales con capacidad para absorber, estabilizar o transformar metales tóxicos en el entorno se constituye como una alternativa viable, de bajo costo, ambientalmente sostenible y adecuada para espacios rurales, semi urbanos, así como entornos de difícil acceso que se encuentran expuestos a la contaminación por metales pesados.

Considerando lo expuesto previamente, este proyecto de ley tiene como finalidad incorporar formalmente la fitorremediación en el marco normativo nacional, promoviendo su uso en los planes de remediación ambiental, fortaleciendo el rol del Estado en su investigación y desarrollo, y articulando esfuerzos entre entidades públicas como el Ministerio del Ambiente, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), los gobiernos subnacionales y la sociedad civil. De manera que se atienda una problemática pública de carácter nacional haciendo uso de tecnologías ambientales rentables y eficaces.

II. MARCO NORMATIVO

La Constitución Política del Perú como marco normativo fundamental a nivel nacional, señala en el artículo 7°, que toda persona ***“tiene derecho a la protección de su salud, la del medio ambiente y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa”***. Es decir, es una obligación del Estado velar por el bienestar físico y psicosocial de cada ciudadano de manera que puede desenvolverse con normalidad y equilibrio a lo largo de su vida, así como la conservación de un entorno propicio para que dicha vida pueda ser llevada. Este principio por supuesto, también contempla la responsabilidad que le concierne a cada ciudadano de contribuir a mantener dicho espacio considerado un bien público.

Sumado a ello, desde el plano ambiental, la **Ley General del Ambiente** (Ley N° 28611) como máximo instrumento regulador engloba en sus diversos capítulos la importancia que posee un medio ambiente saludable para la vida de cada ciudadano, así como el deber que tienen quienes hacen uso del mediante la extracción o aprovechamiento de recursos naturales de realizar las acciones necesarias para preservarlo, protegerlo y de ser el caso remediarlo.

En primer lugar, el Título Preliminar, Artículo I señala que:

*“Toda persona tiene el **derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida**, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”.*

Dicho párrafo expresa detalladamente que un ambiente saludable se constituye como eje fundamental para que toda persona pueda gozar de una vida plena y que en atención a ello; la gestión del mismo debe construirse sobre el uso responsable de los recursos. Asimismo, este derecho no debe ser contemplado únicamente como una potestad individual, sino que responde al bienestar que un grupo de personas puede alcanzar de manera colectiva.

En segundo lugar, en dicho texto normativo, también se establece que el causante de la degradación ambiental y sus componentes sea una persona natural o jurídica, pública o privada tiene el deber y la obligación de realizar las acciones de gestión necesarias para restaurar, rehabilitar o reparar el espacio afectado (Título Preliminar, artículo IX). Esta naturaleza reparadora que implica la Ley N° 28611 faculta efectivamente que medidas o estrategias de tecnología ambiental como la fitorremediación se conviertan en medios adecuados y primordiales para que cada uno de estos responsables sea capaz de cumplir con las obligaciones asumidas de manera efectiva.

Complementando el enfoque en materia ambiental que ha provisto el marco normativo nacional; la presente iniciativa legislativa también se fundamenta en la regulación desarrollada en el área de salud, específicamente con respecto a la atención de personas afectadas por la contaminación a causa de metales pesados, metaloides y otras sustancias químicas. Las cuales enfatizan de manera directa la situación de vulnerabilidad que atraviesan estos ciudadanos y la necesidad de abordar de manera inmediata está problemática. En primera instancia, la **Ley para Fortalecer la Prevención, Mitigación y Atención de la Salud Afectada por la Contaminación con Metales Pesados y Otras Sustancias Químicas** (Ley N° 31189) señala en su artículo 2° que:

“La prevención, mitigación y atención de la salud afectada por la contaminación con metales pesados y otras sustancias químicas se incorporan como enfoques en la formulación y ejecución de políticas públicas en salud, y en materia ambiental, tanto a nivel nacional como regional y local”.

Como señala dicho párrafo, la priorización de las acciones formuladas entorno a la gestión de esta problemática parte de un enfoque compartido que integra de manera sólida la atención en salud con la prevención y mitigación desde el plano ambiental. En ese sentido, se entiende que la prestación de servicios de salud a las personas o familias vulnerables no puede ir desligada de acciones encaminadas a recuperar, rehabilitar o remediar las fuentes de contaminación a las que se encuentran expuestos de manera cotidiana.

De manera complementaria pero relevante, el Decreto Supremo N.º 007-2023-SA, **Reglamento de la Ley N° 31189**, Ley para Fortalecer la Prevención, Mitigación y Atención de la Salud Afectada por la Contaminación con Metales Pesados y Otras Sustancias Químicas; aborda de manera específica las competencias atribuidas a las autoridades sectoriales, regionales y locales entorno a estrategias de prevención, atención integral y seguimiento, así como la identificación de las fuentes de contaminación.

“Las instituciones privadas, públicas y mixtas, de todos los niveles de Gobierno, según sus competencias y en el marco de la prevención primordial y primaria, tienen la obligación de reducir y evitar la exposición de la población a MPOSQ, así como desarrollar e implementar documentos de gestión, monitoreo y control ambiental para la generación de entornos saludables” (Artículo 7°, numeral 1).

Como puede observarse tanto a nivel ambiental como a nivel sanitario, existe un marco normativo que sustenta la promoción y ejecución de alternativas de remediación y recuperación ambiental. Así como

establece la necesidad de realizar acciones concretas que prevengan, atiendan y mitiguen la exposición a metales pesados considerada causa principal de la degradación del bienestar y calidad de vida de poblaciones vulnerables a nivel nacional.

III. EFECTO DE LA VIGENCIA DE LA NORMA EN LA LEGISLACIÓN

Con respecto a este punto, la introducción de una iniciativa legislativa encaminada a “promover el uso de la fitorremediación como tecnología ambiental sostenible para la recuperación y rehabilitación de suelos y cuerpos de agua contaminados con metales pesados”, generaría los siguientes efectos jurídicos:

En primer lugar, se establecerá un marco institucional que promoverá de manera específica la fitorremediación no solo como una tecnología ambiental limitada a espacios de investigación o exploración, sino como una herramienta sistemática válida para gestionar entornos terrestres y acuáticos en materia de remediación y recuperación a nivel nacional. Sumado a ello, se señala la necesidad de incluir dicha estrategia como eje fundamental en los planes de remediación ambiental que serán formulados por las autoridades ambientales competentes y que involucrarán a los responsables públicos y privados del daño ambiental identificado.

En esa misma línea, considerando que se trata de una propuesta legislativa en materia ambiental pero basada en una problemática de carácter sanitario como es la afectación por metales pesados, metaloides y otras sustancias químicas se rescata de manera directa la participación articulada de los gobiernos regionales y locales considerando el rol fundamental que cumplen en relación a la Ley N° 31189 y el Reglamento de la misma (Decreto Supremo N° 007-2023-SA).

En segundo lugar, se fortalecerá el sistema vigente en relación a la gestión ambiental (Ley N° 28611); pues como se mencionó previamente este marco normativo ya contempla la necesidad de formular planes de remediación y recuperación. En ese sentido, la introducción de la fitorremediación planteará una vía para materializar algunos de los objetivos que se han establecido en esta materia sobre todo en zonas vulnerables y de atención prioritaria como son las afectadas/contaminadas por metales pesados.

Asimismo, se estructurará concretamente el rol que le corresponde asumir a cada una de las autoridades involucradas. *Por un lado*, instituciones de carácter nacional como el Ministerio del Ambiente se encargarán de establecer los lineamientos generales en relación a criterios técnicos y científicos que permitan una ejecución efectiva de la política respetando principios básicos de equilibrio y sostenibilidad ambiental. Mientras el Instituto Nacional de Innovación Agraria promoverá y desarrollará un marco de investigación que permita identificar estratégicamente las especies de plantas más adecuadas para los fines requeridos.

Por otro lado, instituciones de carácter territorial como los Gobiernos Regionales y Locales serán los encargados de gestionar política y socialmente la promoción y ejecución de la fitorremediación de manera que esta política se integre progresivamente a la gestión ambiental de su jurisdicción. Este acercamiento progresivo y programático permitirá que las poblaciones ejerzan adecuadamente un nivel de participación acorde con los desafíos que implica una problemática de alta complejidad como es este tipo de contaminación.

En tercer lugar, sumado al fortalecimiento del marco vigente; la promoción y establecimiento de la fitorremediación demandará un proceso de actualización de los reglamentos o normativas de ciertas instituciones que no hayan identificado directamente el uso de este tipo de tecnología ambiental. Como se mencionó previamente, si bien la Ley General del Ambiente plantea la obligación del responsable del daño de remediar/rehabilitar el ecosistema afectado; no señala de manera específica las medidas que llevará a cabo para ello.

La actualización de los documentos en la materia será fundamental para que puedan desarrollarse de manera sistemática las estrategias de fitorremediación (fitoextracción, fitoestabilización, rizodegradación

y fitovolatilización) y estos respondan a criterios científicos obligatorios en relación a la naturaleza y características de las plantas, así como al enfoque social y comunitario deseado (empleo verde y justicia ambiental).

En cuarto lugar, aunque no se trate de uno de los objetivos principales de la presente propuesta legislativa, la entrada en vigor de la norma generaría efectos económicos y productivos favorables. En primera instancia, la demanda de diversas especies de plantas para la implementación de la política de fitorremediación dinamizaría la economía entorno a la producción de semillas y plántulas ya sea en un mercado existente o mediante la conformación de uno nuevo. Estos espacios de intercambio a nivel local y nacional fortalecerían una nueva cadena de producción basada en sostenibilidad.

Otro sector que podría resultar indirectamente beneficiado sería el encargado de realizar servicios de carácter especializado en el asesoramiento y diseño del mecanismo de fitorremediación, así como el seguimiento y monitoreo fundamental según los criterios de la presente propuesta legislativa (participación, efectividad, coordinación, etc.).

Como puede observarse, la vigencia de esta norma, al institucionalizar la fitorremediación como alternativa prioritaria, trasciende la creación de una herramienta técnica de carácter ambiental. Su impacto reconfigura la gobernanza de suelos y cuerpos de agua contaminados, institucionalizando un paradigma de remediación sostenible que integra tres dimensiones estratégicas para el Perú.

- *Ambientalmente*, prioriza la recuperación de ecosistemas con mínimo impacto, desplazando métodos tradicionales y garantizando la resiliencia ecológica a largo plazo.
- *Socialmente*, impulsa la justicia ambiental al empoderar a comunidades locales mediante la participación activa en la gestión de territorios afectados, transformando pasivos en oportunidades inclusivas. Ciudadanos que han sido sistemáticamente vulnerados por la contaminación a causa de metales pesados tienen la posibilidad de incidir efectivamente en las estrategias de fitorremediación.
- *Económicamente*, dinamiza un mercado de semillas basado en la innovación que genera empleo y articula una cadena productiva basada en la sostenibilidad.

Así, la norma no solo aborda pasivos contaminantes, sino que impulsa una transición estratégica hacia soluciones basadas en la naturaleza, consolidando un modelo de gestión ambiental integrado, ético y jurídicamente sólido.

IV. PROBLEMÁTICA

Como señala Neira y otros, **“un metal pesado se puede definir como metal o metaloide con importancia biológica, que puede ser peligroso al acumularse en animales o plantas. Son de gran importancia por su alto potencial tóxico, debido a su alta difusión. Los principales metales basados en su toxicidad son: mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), arsénico (As), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), níquel (Ni), plata (Ag)”** (Neira y otros, 2021, p. 73)¹. Es decir, estos compuestos al concentrarse en grandes cantidades pueden traer graves consecuencias para todo ser vivo que entre en contacto con los mismos.

La contaminación por metales pesados que se ha extendido a nivel nacional de manera exponencial debido al desarrollo de actividades mineras es una problemática que no afecta únicamente ecosistemas acuáticos y terrestres que son el hábitat de diversas especies de flora y fauna lo cual disminuye notablemente la biodiversidad. Sino también incide indirectamente en la salud y bienestar de ciudadanos que se ven expuestos al consumo de estos recursos naturales. Sumado a ello, las alternativas de solución

¹ Neira, C., Rojas, M. & Rosas, C. (2021). Coloquio Salud, pp. 72-77.

que tradicionalmente se han formulado para gestionar esta situación no han generado el impacto esperado, sino que los costos de su implementación son considerables.

Ecosistemas afectados

Es importante señalar que no existen cifras generales que describan el nivel de contaminación por metales pesados a nivel nacional. Por lo cual, tomando como referencia casos específicos desarrollados en estudios regionales/locales se evidenciará el alcance de la problemática.

De 2020 a 2021, se llevó a cabo un estudio para evaluar el nivel de contaminación de ecosistemas acuáticos generado por la minería artesanal a pequeña escala en las provincias de Sandía, Carabaya y San Antonio de Putina ubicadas en la región de Puno. Como apuntan Novoa, Arizaca y Huisa (2022), se tomaron 10 muestras de 7 puntos de monitoreo, las cuáles incluyeron agua de deshielo, agua de reciclaje miniplanta, agua en área de desmonte de mina, agua de filtración, agua de laguna, entre otras. Mediante el análisis de las mismas, se pudo evidenciar que todos los puntos de monitoreo superaron los parámetros de evaluación de calidad del agua (ECA) en diferentes metales. Lo que se detalla en la siguiente tabla:

P	ECA-RV	ECA-BA	Puntos de Monitoreo						
			PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7
Al	5	5	7.79	0.252	5.2	66.2	0.043	4.98	54.8
Cr	0.1	1	a<0.00039	0.06788	0.05956	0.0595	a<0.0003	0.11657	0.08878
Fe	1	1	0.149	202	118	118	0.089	36.1	280
Hg	0.001	0.001	a<0.00041	0.13031	0.00279	0.00279	a<0.00041	0.01557	0.25164
Mn	0.2	0.2	2.8744	0.05236	6.5092	5.5814	0.00291	0.40041	4.0920
Ni	0.2	0.2	0.48031	0.02344	1.2148	0.22779	a<0.00051	0.02181	0.58093

Fuente: Novoa, Arizaca y Huisa (2022, p. 185)²

En esa misma línea, estudios en otras regiones han corroborado estos resultados; es el caso del Río Huancaray ubicado en el departamento de Apurímac; el cual al ser analizado a través de 5 puntos de muestreo ubicados en sus microcuencas y lagunas arroja cifras alarmantes entorno a los límites permitidos de 20 metales como el Plomo, Hierro, Manganeso, Cobalto, Cromo, Cobre, Boro y Arsénico, entre otros:

Concentraciones de metales en sedimentos del Río Huancaray								
PM	Pb	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Br	As
M01	50.8	4.9	0.1	796.4	400.7	111.3	47.6	-
M02	52.6	7.9	0.1	1158.0	487.8	60.7	8.1	-
M03	51.6	5.1	0.1	802.1	578.8	85.3	10.1	25.3
M04	43.3	5.2	0.1	405.8	628.8	111.4	9.4	-
M05	62.3	5.8	0.1	479.7	-	92.3	17.5	50.5

Fuente: Correa et al. (2021, p. 32)³

Por supuesto, la presencia de este tipo de metales pesados en los cuerpos de agua; afecta directamente la alimentación y el equilibrio orgánico de las especies que los habitan. Según el estudio realizado en 2018 por Yvette Arbulú en el Lago Titicaca (Río Ramis), la concentración de Plomo (Pb), Mercurio (Mg) y Cobre (Cu) en las tres estaciones evaluadas de su investigación coincidió con la acumulación de estos

² Novoa, H., Arizaca, A. & Huisa, F. (2022). Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 182-189.

³ Correa, O., Fuentes, F. & Coral, R. (2021). Contaminación por metales pesados de la Microcuenca Agropecuaria del Río Huancaray – Perú. *Rev Soc Quím Perú*, 87(1), 26-38.

componentes en hígado y musculo de dos especies de peces como son, *Orestias ispi* y *Orestias agassii*⁴. Las cuales incluso superaron el promedio regional, expresando directamente la gravedad de esta problemática.

CONCENTRACIONES DE PB, HG Y CU EN HÍGADO Y MÚSCULO DE O.ISPI.										
Metal	LD	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19
Pb	0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Hg	0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cu	0.030	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9

Fuente: Arbulú (2020, p. 31)

CONCENTRACIONES DE PB, HG Y CU EN HÍGADO Y MÚSCULO DE O.AGASSII.							
Metal	LD	Unidad	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5
Pb	0.020	mg/kg	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Hg	0.010	mg/kg	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cu	0.030	mg/kg	1.61	1.61	1.53	1.88	1.55

Fuente: Arbulú (2020, p. 32)

De manera sistemática, mediante el estudio de la presencia de diferentes metales en 17 especies de peces en la Amazonía peruana; se corroboraron altas cifras de concentración de mercurio, cadmio, plomo, cobre y arsénico en Ríos de Ucayali, Tarapoto, Madre de Dios y Huánuco. Situación que se identificó también en las regiones de Pasco, Huancavelica, Áncash, Puno, Cuzco, Ayacucho y Cajamarca donde la especie *Oncorhynchus mykiss* también manifestó afectación a raíz de los mismos componentes. Finalmente, a raíz de las diversas investigaciones en la materia, se logró identificar la misma situación en la Región Costera donde 7 especies de peces fueron objeto de análisis:

Contenido de metales pesados en músculo e hígado de las principales especies de peces de consumo de la costa peruana								
Especies	Hg	As	Cd	Cu	Mn	Se	Zn	Pb
Sarda chilensis chilensis	1.264	-	-	-	-	-	-	-
Scomber japonicus	0.639	-	-	-	-	-	-	-
Mugil cephalus	0.875	-	0.73	2.44	-	-	-	0.61
Sciaena deliciosa	0.750	-	1.62	2.78	-	-	-	4.05
Isurus oxyrinchus	0.889	-	-	-	-	-	-	-
Cheilodactylus variegatus	-	2.94	4.82	5.646	0.97	3.81	50.75	-
Odontesthes regia regia	-	-	1.59	2.14	-	-	-	5.09

Fuente : Mamani et al. (2025, p. 135)⁵

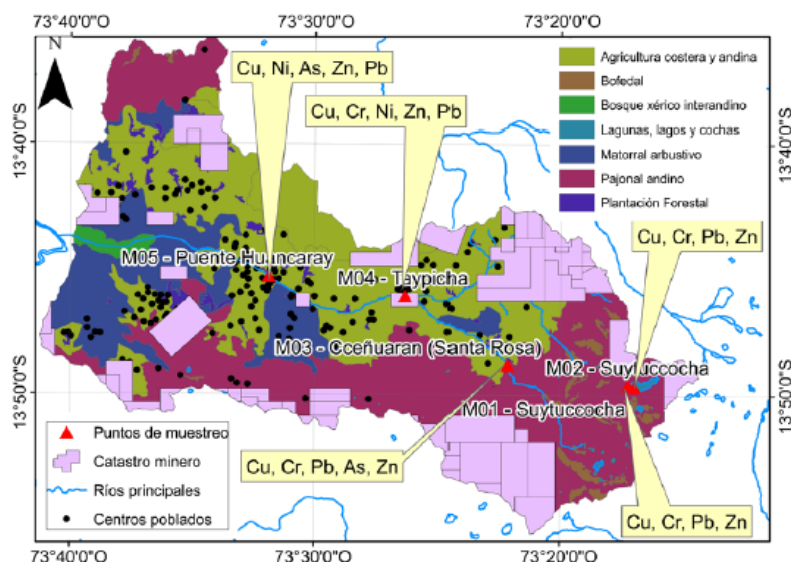
Los diversos autores citados previamente, señalan de manera enfática que existe una relación sostenida entre el desarrollo de actividades mineras legales, artesanales e ilegales que explican la alta concentración de metales como el arsénico o cobre en los ecosistemas naturales de la zona (flora y fauna). Los cuáles son utilizados para el tratamiento de recursos altamente demandados como los minerales y la gestión de

⁴ Arbulu, Y. (2020). Metales Pesados (Pb, Hg y Cu) en Hígado y Músculo de los peces *Orestias Ispi* y *Orestias Agassii* del Lago Titicaca, Puno – Perú”. Tesis para optar por el título de Bióloga Marina. Universidad Científica del Sur.

⁵ Mamani, M., Blas, J., Izquierdo, S., Gonzáles, G., Andrade, M. & Parl, D. (2025). Contenido de Metales Pesados en los Peces en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 12(1), 131-141.

las zonas de explotación. Sumado a ello, otros estudios han logrado exponer una dimensión adicional de esta problemática como es la interacción entre las aguas contaminadas y los suelos agrícolas donde se cultivan diferentes productos para el consumo humanos que resultan fundamentales para las economías de subsistencia de miles de familias a nivel nacional.

Metales potencialmente tóxicos, centros poblados, zonas agrícolas y catastros mineros en la microcuenca del río Huancaray



Fuente: Correa et al. (2021, p. 36)

Como se ha mostrado en el gráfico anterior, la presencia de metales pesados se extiende a aquellos lugares incluso si no está directamente involucrado con los mismos; pues existen elementos que permiten transportar los mismo como es el caso de aguas contaminadas que son utilizadas para el proceso de irrigación de suelos. Más allá de que el suelo comprenda una importancia fundamental por ser el lugar que habitamos como seres vivos, también cumple un rol fundamental en la regulación del clima y diferentes fenómenos naturales y en ese sentido; su composición es un asunto fundamental para el cumplimiento efectivo de dichas funciones.

Es importante mencionar que si bien, los metales pesados pueden encontrarse de manera natural en los suelos agrícola producto de procesos de erosión natural, la fuente más importante de concentración identificada durante los últimos años está directamente relacionada con la actividades humanas (causas antropogénicas). Entre las cuales se encuentran principalmente las actividades de explotación minera y el uso de sus residuos para diversas tareas domésticas:

Elemento	Rango Natural	Fuente Antropogénicas
Arsénico (As)	5-10	Actividades mineras, cenizas de combustión, fertilizantes, pesticidas y herbicidas
Cadmio (Cd)	0.01-0.7	Actividades mineras, fertilizantes fosfatados y lodos residuales
Cromo (Cr)	5-3000	Actividades mineras, fertilizantes fosfatados, y lodos residuales.
Cobre (Cu)	2-100	Actividades mineras, disposición de desechos y lodos residuales.

Mercurio (Hg)	0.003-4.6 (μ g· kg ⁻¹)	Actividades mineras, combustión de carbón y riego con aguas residuales.
Níquel (Ni)	10-100	Combustión de carbón y riego con aguas residuales.
Plomo (Pb)	2-200	Actividades mineras, deposición atmosférica, y fertilizantes.
Zinc (Zn)	10-300	Actividades mineras, cenizas industriales, fertilizantes, y lodos residuales.

Fuente: Loyde et al. (2022, p. 95)⁶

Mediante un estudio realizado durante el año 2019 en la zona colindante a la **Comunidad de Paxa**, Centro Poblado Sunsori, ubicada en la Región de Puno; se evaluó la concentración total de Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo, Níquel y Zinc. Los resultados arrojados de las cuatro muestras tomadas indicaron que tres elementos (As, Cd y Pb) superaron los límites previamente establecidos. Los cuales resultan ser altamente tóxicos para la agricultura y ganadería:

Metales	Unidad	M1	M2	M3	M4
As	mg kg ⁻¹	2.2	1.8	1.7	15.8
Cd	mg kg ⁻¹	0.6	0.5	0.5	2.2
Cr	mg kg ⁻¹	1.8	1.7	5.5	2.5
Pb	mg kg ⁻¹	168.6	111.6	146.8	679.9
Zn	mg kg ⁻¹	22.9	26.0	19.7	60.1
Ba	mg kg ⁻¹	439.8	376.4	228.3	512.2
Cu	mg kg ⁻¹	4.3	3.1	4.0	11.8
Ni	mg kg ⁻¹	1.2	1.2	3.0	1.6
pH	-	5.2	5.2	5.6	4.1
MO	%	1.3	0.9	0.8	3.0

Fuente: Fernández et al. (2022, p. 134)⁷

Un estudio adicional que profundiza la afectación identificada en los suelos agrícolas se centra en la zona de Puno; específicamente en el distrito de Illalli, provincia de Melgar. A través de la toma de muestra en 15 puntos de la zona de referencia, se identifica altas concentraciones de plomo, cadmio, mercurio y arsénico que superan los estándares establecidos de calidad ambiental del MINAM. Lo cual como señala Coila (2024), perjudica directamente la calidad de suelos que son utilizados de manera alternativa para el desarrollo de otras actividades:

Muestra	Plomo	Cadmio	Mercurio	Arsénico
SU-01	23.04	0.2	1.04	15.25
SU-02	9.98	0.1	0.61	9.05
SU-03	9.46	0.1	0.41	4.78
SU-04	9.23	0.1	0.32	7.51
SU-05	10.84	0.07	0.31	5.15
SU-06	25.05	0.24	0.46	29.05
SU-07	15.3	0.1	0.38	11.77
SU-08	7.46	0.05	0.16	5.75
SU-09	10.99	0.12	1.11	12.05

⁶ Loyde, L., Gonzáles, B., Cruz, A. & Loredó, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. Epistemos, 33(16), p. 93-98.

⁷ Fernández, B., Mullisaca, E. & Huanchi, L. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). Revista de Investigaciones Altoandinas, 24(2), p. 131-138.

SU-10	13.34	0.1	0.25	7.55
SU-11	14.6	0.1	0.62	9.26
SU-12	20.06	0.28	0.38	14.43
SU-13	16.22	0.31	0.46	11.19
SU-14	7.51	0.12	0.10	7.26
SU-15	15.27	0.19	0.14	17.81

Fuente: Realización propia en base Coila (2024, p. 71-79)⁸

En un estudio llevado a cabo en otra comunidad de la misma región como es la Comunidad Minera Ollachea, se tomaron muestra en 4 puntos de monitoreo para evaluar el nivel de concentración de diversos metales. Como puede observarse en el siguiente cuadro y tomando como referencia lo establecido en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM; el plomo manifiesta una presencia diversa relacionada a la cercanía territorial de cada punto con respecto a la zona de explotación minera, el mercurio igualmente sobrepasa considerablemente los estándares ambientales y el zinc y cadmio siguen el patrón de los otros elementos.

Puntos de Muestreo	Metales			
	Plomo	Mercurio	Zinc	Cadmio
	>80mg/kg	1 mg/kg	200 mg/kg	1.4 mg/kg
PM 01	82	7.6	220	2.3
PM 02	77	7.2	214	1.8
PM 03	72	6.9	212	1.6
PM 04	66	6.8	202	1.5

Fuente: Contreras (2025, p. 39-49)⁹

Como puede observarse desde casos específicos, la contaminación de ecosistemas acuáticos y terrestres ya sea mediante cuerpos de agua como ríos, lagunas o suelos agrícolas es una realidad problemática para el Perú. Aunque existen regiones notablemente afectadas por cuestiones estructurales e históricas asociadas a la explotación minera, durante los últimos años debido al uso cotidiano de fuentes de agua contaminadas para el cultivo o consumo humano; **el nivel de exposición ha aumentado de manera exponencial.**

Salud y Bienestar ciudadano

¿Qué implica la afectación por metales pesados? Los metales pesados como fueron definidos previamente son el conjunto de componentes que en altas cantidades pueden ser directamente perjudiciales para la salud y bienestar físico-mental de los ciudadanos que entran en contacto o se encuentran expuestos a los mismos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha considerado dentro de este grupo a un conjunto diverso de componentes entre los que se encuentra principalmente los siguientes:

Metal	Efectos en la Salud
Mercurio	Deterioro del sistema nervioso (trastornos neurológicos) y sistema inmunitario.

⁸ Coila, J. (2024). Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en agua para riego y suelo agrícola en el distrito de Llalli, Provincia de Melgar-Puno. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Agrícola.

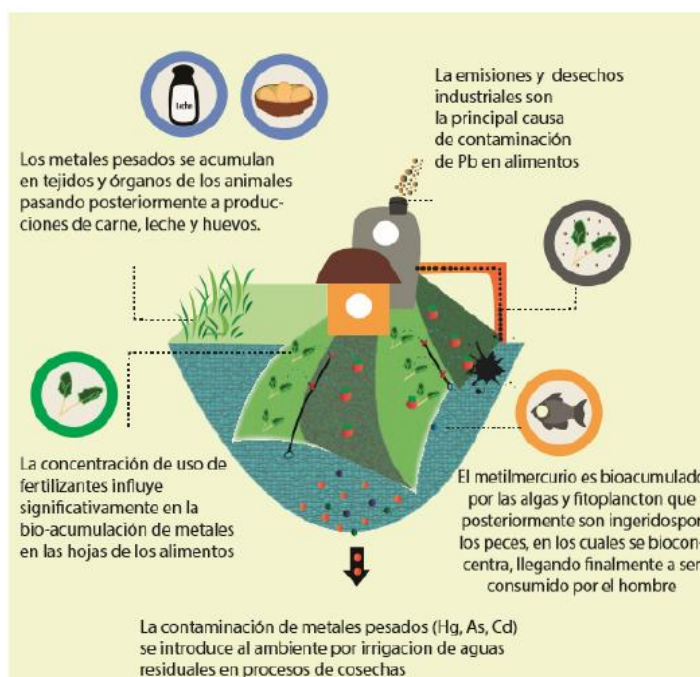
⁹ Contreras, Y. (2025). Contaminación por Metales Pesados en los Suelos Agrícolas de la Comunidad Minera Ollachea. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Cadmio	Deterioro del sistema cardiovascular (hipertensión y enfermedades cardíacas). La exposición agua está asociada a daño renal y debilitamiento óseo.
Plomo	Deterioro del sistema nervioso central (cerebro), sistémico (hígados o riñones) e incluso mental-intelectual. Tiene un mayor nivel de afectación en niños y gestantes.
Cadmio	Deterioro en el sistema cardiovascular, sistema nervioso y afectación directa a la vejiga, pulmones, riñones e hígado.

Fuente: Realización propia en base Carrasco (2025, p. 47 – 51)¹⁰

Sumado a ello, los efectos de cada uno de los metales pesados suelen variar dependiendo del grupo etario y la población específica a la que afectan. Por ejemplo, frente a la exposición a plomo; niños y madres gestantes no solo se encuentran en una situación de alta vulnerabilidad por el retraso neuroconductual o las deficiencias físicas asociadas (bajo peso y estatura). Sino también por la prevalencia e **irreversibilidad** de las enfermedades directamente vinculadas que no suelen ser identificadas ni tratadas con rigurosidad:

*En adultos, del 80 al 95% del total de Pb en el cuerpo se concentra en el esqueleto, y en los niños en el 73%; **la vida media biológica del Pb es mayor en niños que en adultos**. En condiciones de exposición crónica, se encuentra una distribución estable en los diferentes órganos y sistemas del cuerpo, por lo que el nivel de Pb en sangre es un buen indicador. En humanos, la transferencia vía placenta del Pb de la madre al feto se inicia a partir de la semana doce de gestación, continuando durante todo el embarazo, **la concentración en la sangre de cordón umbilical es del 80 al 100% del nivel de Pb en la sangre materna** (Rivera, 2002, p. 166)¹¹*



Reyes et al. (2016)

¹⁰ Carrasco, J. (2025). Percepción de la Contaminación por Metales pesados y Riesgos en la Salud en la Población de dos distritos en Cerro de Pasco. Tesis para optar por el grado académico de Doctora en Salud Pública.

¹¹ Rivera, L. (2002). Riesgo de exposición al plomo en el binomio madre-hijo. Rev Fac. Med UNAM, 45(4), 164-169.

Definitivamente, las consecuencias que acarrea la exposición a este tipo de componentes en la salud humana demandan la intervención directa de las autoridades competentes en materia sanitaria pero también la gestión de las fuentes de contaminación que en este caso les corresponde a las autoridades ambientales. Como señalan diversos autores, cada uno de los metales pesados puede entrar en contacto con organismos vivos a través de la ingesta de alimentos o agua, inhalación, exposición cutánea. Lo que afecta la capacidad de identificación y prevención.

En ese sentido, Reyes et al. (2016)¹²; realizan una descripción específica sobre cada uno de ellos. **En primer lugar**, el cadmio suele ser ingerido vía oral a través del consumo de agua o comida contaminada y en ocasiones también a causa de la inhalación de partículas que surgen a raíz del desarrollo de actividades industriales. Incluso recientemente se ha asociado la presencia de este metal altamente tóxico a productos como el cigarro y la planta que se utiliza para su fabricación. **Pues es uno de los componentes con mayor tendencia a acumularse en las plantas.**

En segundo lugar, el plomo; de manera similar a lo ocurrido con el cadmio puede ser inhalado o ingerido a través de alimentos o agua contaminadas. En esa misma línea, su capacidad de distribución y prevalencia en el ambiente es alarmante. **En tercer lugar**, el mercurio como metal líquido puede encontrarse tanto en su estado natural o procesado mediante diferentes objetos que entran en contacto con los organismos vivos. **Por último**, el arsénico al estar ampliamente distribuido en la atmósfera, hidrósfera y biosfera posee cuatro estados de oxidación que implican diferentes niveles de riesgo (AsV, AsIII, As0 y As-III). Sin embargo, como fuente de exposición se relaciona con el consumo de agua (subterráneas y superficiales).

Definitivamente se observa que la contaminación por metales pesados condiciona la vida y estabilidad física de diversas poblaciones a nivel nacional, sin embargo; de manera similar a lo que ocurre con la afectación causada por estos compuestos en los ecosistemas terrestres y marinos, no existe una base que agrupe los alcances nacionales de dicha problemática de manera detallada y sostenida. Por lo cual, a través de los informes de “Vigilancia Epidemiológica de factores de riesgo por exposición a metales pesados y metaloides” se ha logrado sistematizar el número de personas expuestas y la tasa de exposición:

Regiones	2023 (SE 48) ¹³		2024 (SE 36) ¹⁴		2025 (SE 12) ¹⁵	
	N° Personas Expuestas	Tasa de Exposición (1000 h)	N° Personas Expuestas	Tasa de Exposición (1000 h)	N° Personas Expuestas	Tasa de Exposición (1000 h)
Ayacucho	2094	32.7	1348	7.7	35	2
Apurímac	-	-	-	-	4	0.1
Cajamarca	-	-	-	-	165	6.5
Callao	1596	1.5	799	1.3	8	0.01
Junín	1369	15.7	412	11.8	51	0.2
Piura	928	0.7	1290	1.8	490	1
Moquegua	709	4.2	84	5.4	-	-
Tacna	-	-	-	-	5	1.3
Puno	682	10.1	458	6.9	-	-

¹² Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. & Gonzáles, E. (2016). Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16(2), 66-77.

¹³ MINSA (2023). Sala de Situación de Salud: Vigilancia Epidemiológica de factores de riesgo por exposición a metales pesados y metaloides 2023 (Hasta SE 48).

¹⁴ MINSA (2024). Sala de Situación de Salud: Vigilancia Epidemiológica de factores de riesgo por exposición a metales pesados y metaloides 2024 (Hasta SE 36).

¹⁵ MINSA (2025). Sala de Situación de Salud: Vigilancia Epidemiológica de factores de riesgo por exposición a metales pesados y metaloides 2025 (Hasta SE 12).

Pasco	676	7.5	456	4.6	-	-
Cusco	280	1.4	370	2.7	-	-
Apurímac	211	12.3	146	5.1	-	-
Ucayali	139	6.8	-	-	-	-
Áncash	78	1.1	306	7.7	-	-
Lima	71	0.03	22	0.01	8	0.02
Ica	48	0.5	-	-	-	-
Huánuco	30	5.9	-	-	-	-
Lambayeque	24	0.2	42	0.3	-	-
La Libertad	6	0.01	140	0.6	191	0.8
Arequipa	1	0.02	-	-	-	-
Tumbes	-	-	507	3.3	138	13.7
Amazonas	1	0.2	-	-	-	-
Huancavelica	1	0.1	731	8.2	-	-
Madre de Dios	1	0.1	-	-	1	0.01
San Martín	1	0.02	-	-	1	0.0
Total	8946	1.4	7112	1.3	1097	0.5

Fuente: Realizado en base a MINSA (2023,2024 y 2025)

En términos generales, desde 2023 se han notificado a las instituciones de salud pertenecientes a ESSALUD, MINSA y otras; **17 155 casos** de exposición por metales pesados a nivel nacional. De los cuales, regiones como Piura, La Libertad, Junín y Ayacucho han evidenciado de manera continua un número significativo de alertas. Por ejemplo, en el caso de Piura; la provincia del mismo nombre en los distritos de La Unión y Catacaos han concentrado el mayor número de personas expuestas (60%). En esa misma línea, los distritos de Moche y Salaverry han agrupado más del 50% de los casos reportados en toda la región de la Libertad.

Sumado a ello, en la región de Junín; el distrito de El Tambo ubicado en la provincia de Huancayo representa el 56.9% de los casos notificados en general durante el año 2025. Finalmente, el distrito de Puquio, provincia de Lucanas en Ayacucho congrega el 97.1% del total de personas expuestas.

Finalmente, un dato que consolida la urgencia y la complejidad de esta problemática es que conforme a lo mencionado por diversos autores entorno a la afectación diferenciada de metales pesados por grupo etario; los informes del Ministerio de Salud han documentado que efectivamente según el rango de edad, los menores de 12 años manifiestan un nivel de concentración considerable con respecto a los adolescentes, jóvenes, adultos y adultos mayores. Tomando en cuenta la importancia que esta etapa implica para el desarrollo íntegro a nivel mental, neurológico y físico; la gestión de dicha vulnerabilidad debe ser una prioridad en las políticas públicas y normativa nacional.

Distribución Proporcional y Tasa de Exposición por metales pesados y metaloides, según edad						
Edad	2023		2024		2025	
	N° de Personas	% (Exposición)	N° de Personas	% (Exposición)	N° de Personas	% (Exposición)
Niño	6574	5.0	4493	4.2	575	1.4
Adolescente	484	0.7	416	0.7	74	0.4
Joven	620	0.5	660	0.6	168	0.4
Adulto	937	0.4	1130	0.5	203	0.2
Adulto mayor	334	0.4	413	0.6	77	0.2

Fuente: Realizado en base a MINSA (2023,2024 y 2025)

La exposición previa, plantea que la contaminación por metales pesados es un problema multidimensional; cuya implicancias afectan a todos los organismos vivos concentrados en ecosistemas acuáticos, terrestres, pero también a los ciudadanos quienes de manera indirecta entran en contacto con estos compuesto. En ese sentido, la solución de la misma debe apelar a alternativas que permitan una gestión íntegra, razonable y sostenible de la misma como es el caso de la fitorremediación.

V. JUSTIFICACIÓN

La fitorremediación es una técnica de gestión ambiental utilizada para la remediación y rehabilitación de suelos y aguas contaminadas mediante la absorción o degradación de contaminantes. Como señala Pivetz (2001), debido a sus características singulares, es conocida como “remediación verde”, “remediación botánica” o “remediación vegetal” donde se llevan a cabo diversos procesos de acuerdo a las condiciones del área intervenida, el tipo de contaminantes y el potencial de la planta¹⁶.

En pocas palabras, la fitorremediación se basa en el uso de plantas con potencial fitorremediador para la acumulación de metales pesados; el cual puede llevarse a cabo mediante 5 procesos asociados:

- La fitoestabilización como su nombre lo indica está destinado a inmovilizar los contaminantes del suelo o del agua por medio de la absorción, precipitación y acumulación de sustancias en las raíces de las plantas. De manera que los compuestos tóxicos (metales pesados) no se trasladen a otros espacios.
- La fitoextracción; implica el mecanismo por el cual las plantas son cosechadas específicamente para acumular aquellas sustancias que por sus características no tienen la capacidad de convertirse en sustancias no tóxicas y no pueden ser procesadas al interior de la planta. Lo que demandan la posterior incineración de las mismas.
- La fitovolatilización involucra la absorción de los contaminantes del suelo o agua a través de las raíces que una vez transformados en compuesto menos dañinos (mitigados) son expulsados al medio ambiente a través de la transpiración de las hojas.
- La fitoinmovilización, mediante la producción de sustancias químicas en la rizosfera (interfaz suelo raíz) permite la reducción de la biodisponibilidad (capacidad de interactuar con un organismo vivo) de los compuesto químicos ya sea por mecanismos de absorción o precipitación.
- La fitodegradación, a través de la absorción de los compuesto contaminantes del suelo o agua inicia un proceso de degradación para convertir al mismo en una sustancia menos lesiva para el ambiente. Sin embargo, solo puede ser utilizada para contaminantes orgánicos.

Como puede observarse en el siguiente cuadro y gráfico¹⁷ siguientes, cada uno de los procesos que componen la fitorremediación hacen uso de un mecanismo diferenciado de acuerdo de la naturaleza del compuesto (orgánico e inorgánico) así como el nivel de toxicidad del mismo. Ello se configura como una ventaja para gestionar de manera eficiente e íntegra la diversidad de metales tóxicos que se identifican en los ecosistemas terrestres y acuáticos del territorio peruano.

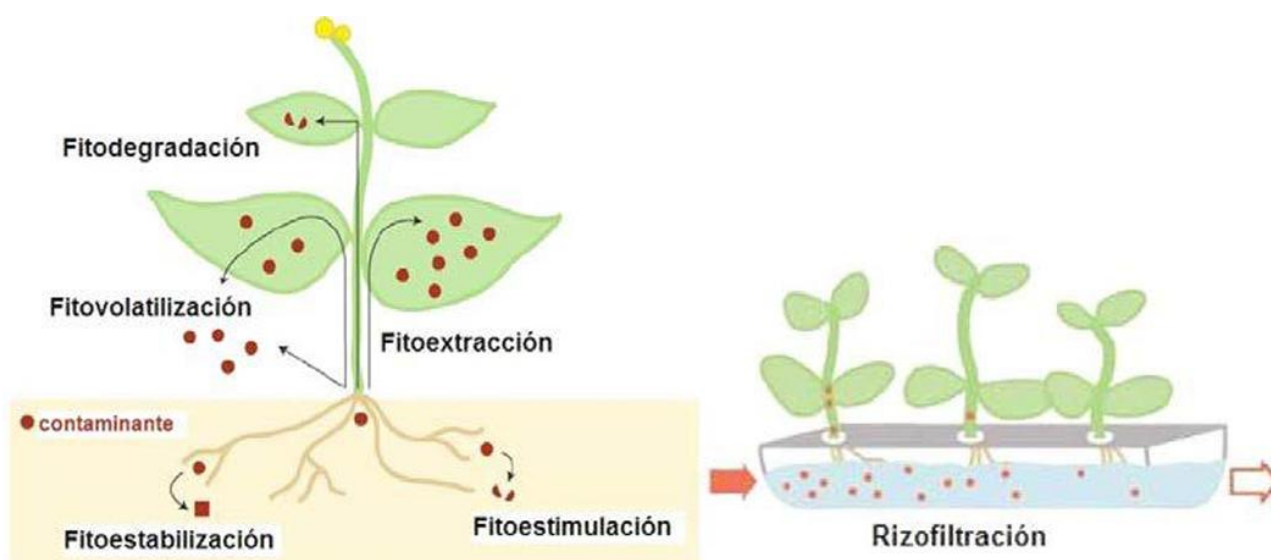
Proceso	Mecanismo	Contaminantes
<i>Fitoestabilización</i>	Absorción (Complejización)	Orgánicos e inorgánicos
<i>Fitoextracción</i>	Hiperacumulación	Orgánicos e Inorgánicos
<i>Fitovolatilización</i>	Volatilización a través de hojas	Orgánicos e Inorgánicos
<i>Fitoinmovilización</i>	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e Inorgánicos

¹⁶ Pivetz B. (2001). *Ground Water Issue*. Obtenido de EPA ORD: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa_540_s01_500.pdf

¹⁷ Bayón, S. (2015). Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados. Departamento de Edafología, 23.

Fitodegradación (Fitotransformación)	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber contaminantes de agua	Orgánico e Inorgánico

Fuente: Ghosh y Singh 2005 visto en Delgadillo-López y otros (2011, p. 601)¹⁸



Fuente: Bayón (2015)

- En el caso específico de la rizofiltración, que es utilizada únicamente para el tratamiento de cuerpos de agua contaminados; implica la acumulación de compuestos tóxicos en las raíces de la planta de manera que estos no sigan afectando la estabilidad del ecosistema. Entre las plantas más conocidas para este proceso se encuentran:

Nombre de la Planta	Respuesta a los Contaminantes
<i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua)	Inicia un proceso de actividad enzimática reducida; que le permite operar con eficiencia fotosintética y fomenta el crecimiento de sus bases y raíces.
<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua común)	Una vez en contacto con el compuesto tóxico, la absorción del mismo implica una disminución del crecimiento de la planta.
<i>Pistia stratiotes L.</i> (Lechuga de agua)	La absorción de compuestos tóxicos implica la reducción en el volumen de raíz, clorosis, daño a la membrana celular, reducción en la tasa de crecimiento y fotosíntesis, aumento en la actividad enzimática especialmente como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasa (POX) y ascorbato peroxidasa (APX).

¹⁸ Delgadillo-López, A., González- Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, R. & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la Contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597-612.

<i>Ipomonea aquatica</i> (Akankong)	El aumento en el tamaño de la raíz y disminución en la longitud de la raíz son consecuencias de la absorción de compuesto tóxicos.
<i>Isoetestaiwanensis</i> (Helecho Acuático)	Inhibición del crecimiento de raíces y brotes.
<i>Echinodorus amazonicus</i> (Espada del Amazonas)	Crecimiento reducido, disminución de la altura de la planta y longitud de la raíz, clorosis.

Fuente: Ansari et al. (2020, p. 374) [Traducción propia]

Definitivamente a raíz de esta breve explicación se puede identificar que las principales ventajas de la fitorremediación se sustentan en su capacidad de adaptación, pero sobre todo en dos características que como tipo de remediación aportan a la gestión de ecosistemas acuático y terrestres contaminados; las cuáles son descritas a continuación:

Sostenibilidad

Retomando lo expresado previamente, la fitorremediación como estrategia o tecnología de gestión ambiental redefine las alternativas de solución convencionales que implican altos costos en recursos materiales e inmateriales (tiempo). Como menciona Rodríguez (2020)¹⁹ existen dos tipos de tratamientos de remediación: in situ y ex situ. Los “in situ” actúan directamente sobre la zona impactada y los segundos, requieren la excavación previa del suelo para su posterior tratamiento. Estos a su vez pueden agruparse adicionalmente de acuerdo al tipo de técnica utilizada como son la físico química, biológica y mixta:

Tipo de Técnica	Aplicación	Manifestación
<i>Físico – Químico</i>	In situ	La electrorremediación permite tratar elementos químicos como el cadmio, cobre, plomo, zinc, cobalto, arsénico.
	Ex situ	La desorción térmica hace uso del calor para vaporizar y separar los contaminantes del espacio afectado que ha sido retirado de su ubicación original.
		Las soluciones químicas permiten el tratamiento de espacios contaminados.
<i>Biológica</i>	In situ	La fitorremediación hace uso de las propiedades metabólicas de las plantas para la descontaminación de metales pesados.
	Ex situ	La excavación del área contaminada y su posterior reposición una vez culminado el proceso de eliminación o tratamiento (uso de microorganismos de descomposición).
<i>Mixto</i>	In situ	Hace uso de elementos de ambas técnicas dependiendo de la naturaleza del ecosistema y la composición o riesgos de los componentes contaminantes.

¹⁹ Rodríguez, O. (2020). Técnicas de Remediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados en la Industria Minera: Una revisión sistemática entre los años 2008-2018. Trabajo de investigación para optar al grado de Bachiller en ingeniería de Minas. Universidad Privada del Norte.

Fuente: Realización propia en base a Rodríguez (2020, p. 21) y Xilotl (2013)²⁰

En palabras de Raffa, Chiampo y Shanthakumar (2021)²¹, cada una de las técnicas de remediación implica una serie de ventajas considerables, así como desventajas relacionadas con el alto costo que implica, el uso de ellos en el largo plazo que está directamente relacionado con la afectación irreversible del entorno en donde son aplicados (efectos de la aplicación de químicos o remoción de suelos) y las limitaciones de uso, acceso y manejo por agentes no especializados como son los ciudadanos en general. En ese sentido, las estrategias de fitorremediación permiten un uso sostenido de las diversas especies de plantas que pueden ser utilizadas a nivel nacional y cuyo cultivo o tratamiento no incide en una inversión considerable:

1. Alternativa económicamente sustentable:

Tomando como referencia lo desarrollado por Movahed y Maeiyat (2009)²² existe una disminución de costos considerable con respecto a las alternativas convencionales de remediación ambiental como son la excavación-remoción, el uso de herramientas térmicas o el tratamiento químico de los espacios contaminados. Por ejemplo, en el caso del **tratamiento y remediación de espacios contaminados por plomo** la fitorremediación contempla un ahorro proyectado de 50 – 65% para la extracción, recolección y disposición de los compuestos tóxicos. Hecho que se observa nuevamente para la **degradación y control hidráulico de solventes en agua subterránea donde** la reducción de la inversión alcanza el 50% (promedio de 3 años). Finalmente, para la **gestión de hidrocarburos en suelo**, la degradación in situ permite una deducción del 80% aproximadamente.

Tratamiento Convencional		
Caso	Métodos	Costo (soles)
Pb en suelo (0.405 ha)	Excavación y disposición	S/. 94 307
Solventes en agua subterránea (1.012 ha)	Bombeo y tratamiento	S/. 132 031
Hidrocarburos en suelo (0.405 ha)	Excavación, incineración y disposición	S/. 94 307

Fuente: Adaptación propia en base a Movahed y Maeiyat (2009)

Tratamiento con Fitorremediación		
Caso	Métodos	Costo (soles)
Pb en suelo (0.405 ha)	Extracción, recolección, disposición	S/. 28 292 S/. 37 723
Solventes en agua subterránea (1.012 ha)	Degradación y control hidráulico	S/. 37 723
Hidrocarburos en suelo (0.405 ha)	Degradación in situ	S/. 9 430 S/. 18 861

Fuente: Adaptación propia en base a Movahed y Maeiyat (2009)

Definitivamente, la implementación de las estrategias de fitorremediación conlleva **un ahorro del 65% en promedio**. Lo cual dependiendo del contexto nacional puede variar ligeramente ya sea mediante un

²⁰ Xilotl, G. (2013). Remediación de suelos contaminado con Arsénico, Cadmio y Plomo en Complejo Metalúrgico I.M.S.S.A, San Luis Potosí, utilizando separación magnética y lavado de suelos. Tesis para obtener el título de Ingeniera Geóloga. Universidad Nacional Autónoma de México.

²¹ Raffa, C., Chiampo, F. & Shanthakumar, S. Remediation of Metal/Metalloid-Polluted Soils: A Short Review. *Applied Sciences*, 11, 1-23. <https://doi.org/10.3390/app11094134>

²² Mohaved, N. & Mohammad, M. (2009). Phytoremediation and sustainable urban design methods (Low Carbon Cities through Phytoremediation). 45th ISOCARP Congress. Disponible en: <http://isocarp.net>.

aumento o disminución en lo planteado previamente. Sin embargo, a comparación de los costos derivados de los tratamientos convencionales que implican la remoción de suelos o el uso de sustancias químicas; esta característica permite que el acceso y uso de esta biotecnológica pueda ser mucho más extendido y sostenido a lo largo del tiempo.

De igual manera como se estableció en la fórmula legal de la presente iniciativa legislativa, la promoción científica es una herramienta fundamental para el desarrollo óptimo de cada una de las ventajas que contempla la “fitorremediación”; es decir, a medida que las autoridades e instituciones competentes como el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y el Ministerio del Ambiente (MINAM) realicen acciones encaminadas a investigar e identificar las especies de plantas más adecuadas para el tratamiento de esta problemática pública de acuerdo al ecosistema y las características locales no solo se reducirán los costos asociados sino que el impacto será verdaderamente trascendental.

2. Alternativa ecológicamente sustentable:

Una segunda ventaja o fortaleza que demuestran las estrategias de fitorremediación como iniciativas públicas es la disponibilidad; es decir, la **capacidad de fomentar o identificar plantas con potencial fitorremediador en el ecosistema intervenido**. Como señala León (2017)²³, muchas de las especies altoandinas que componen la flora de las regiones directamente asociadas a actividades de explotación minera tiene una alta capacidad de acumulación de metales tóxicos como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico. La naturaleza “nativa de las plantas fitorremediadoras” se convierte en una ventana de oportunidad sólida que implica no solo una reducción de costos como se indicó párrafos anteriores sino una gestión eficiente e integra de acuerdo a la identidad biológica de cada entorno.

De acuerdo a un estudio realizado por Jara-Peña et al. (2014), se identificó un grupo de especies altoandinas con idoneidad para formar parte de intervenciones en materia de fitorremediación²⁴. Estas plantas también conocidas como metalofitas fueron evaluadas de acuerdo a dos criterios fundamentales como el **índice de biomasa acumulada** y el **índice de tolerancia**. El primero de ellos indica la cantidad total de biomasa acumulada en un área específica durante un periodo determinado, lo que manifiesta la capacidad de absorción de cada especie. El segundo, indica la posibilidad de respuesta y gestión a los compuesto tóxicos ya se mediante la metabolización (transformación) o expulsión.

Tomando en cuenta los valores expresados en la siguiente tabla, se puede observar que las especies altoandinas muestran un **desempeño adecuado con respecto a la absorción de compuesto tóxicos en espacios afectados por actividad minera entre los que se encuentran: plomo, zinc y cadmio**. Asimismo, tanto en espacios controlados como en espacios no tratados (directamente contaminados); el índice de biomasa supera los niveles esperados. Como punto adicional, es importante considerar que la especie *solanum nitidum* conocida comúnmente como la “ñuñunga” manifestó la mayor capacidad de absorción en las raíces independientemente del nivel de contaminación del sustrato (Hazrat et al. 2013).

Biomasa Acumulada por cinco especies altoandinas				
Especies	100%	60%	30%	Control
<i>Solanum nitidum</i>	§9.1 d	21.5 c	27.4 ab	31.3 a
<i>Brassica rapa</i>	2.5 c	3.2 bc	4.3 b	6.7 a
<i>Fuertesimalva echinata</i>	2.1 b	3.0 bc	4.1 ab	5.1 a
<i>Urtica urens L.</i>	1.2 b	1.8 b	2.1 bc	3.6 a

²³ León Menacho, V. (2017). Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC. en condiciones de invernadero, 2015-2016.

²⁴ Jara-Peña E., J. Gómez, H. Montoya, M. Chanco, M. Mariano & N. Cano. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista peruana de biología 21(2), 145 - 154. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>

<i>Lupinus ballianus</i>	2.8 d	4.7 c	6.3 b	8.7 a
--------------------------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Jara Peña (2014, p. 147)

En relación al segundo criterio, la capacidad de las plantas altoandinas para crecer y sobrevivir incluso en suelos altamente contaminados es considerable sobre todo en el caso de la especie *fuertestimalva echinata*, una hiperacumuladora referenciada ya en otros estudios como el desarrollado por Ríos (2017)²⁵. Lo cual indica que estos recursos naturales que son endémicos de las zonas más afectadas por la presencia de metales pesados justamente han desarrollado la capacidad de adaptarse a estos entornos sin sufrir efectos negativos severos y que en suelos o cuerpos de agua menos afectados pueden mostrar resultados mucho más satisfactorios.

Índice de tolerancia por cinco especies altoandinas				
Especies	100%	60%	30%	Control
<i>Solanum nitidum</i>	§28.9 d	68.5 c	87.5 b	100 a
<i>Brassica rapa</i>	37.3 d	47.9 c	63.7 b	100 a
<i>Fuertesimalva echinata</i>	41.5 d	59.1 c	80.7 b	100 a
<i>Urtica urens L.</i>	32.5 d	50.1 c	58.4 b	100 a
<i>Lupinus ballianus</i>	20.0 d	67.9 c	77.2 b	100 a

Fuente: Jara Peña (2014, p. 150)

Finalmente, este apartado también permite identificar como ventaja adicional que cada una de estas especies son ampliamente conocidas a nivel local y que en diversos casos ya vienen siendo utilizadas con otro fines como el tratamiento de enfermedades (Hurtado -Huarcaya & Albán 2018)²⁶. **Esto se configura como una ventana de oportunidad para el desarrollo de una intervención comunitaria que fortalezca el rol de los ciudadanos en el proceso el diseño e implementación de este tipo de biotecnología.**

Inocuidad:

Sumado a las ventajas que configuran a la fitorremediación como un conjunto de estrategias altamente sostenibles, también se ha reconocido su inocuidad. Es decir, su capacidad para preservar la composición y equilibrio orgánico de los suelos o cuerpos de agua tratados a través de ellas. Aunque se dirige a gestionar con la finalidad de remediar y rehabilitar, los mecanismos que se desarrollan para ello como la fitoestabilización, fitoextracción, fitovolatilización, rizofiltración, etc.; no alteran la naturaleza de estos espacios, sino que los protegen. Como señalan Padmavathiamma & Li (2007), la fitorremediación no está encaminada únicamente a recuperar los suelos o cuerpos de agua afectados sino a conservar en el proceso las propiedades del suelo, agua y los seres vivos de los ecosistemas²⁷.

Se puede concluir que la introducción de la fitorremediación como alternativa de gestión ambiental trae consigo un conjunto de beneficios a la recuperación o rehabilitación de ecosistemas terrestres y acuáticos contaminados por metales pesados:

Ventajas Generales Identificadas de las estrategias de Fitorremediación	
Dimensión Económica	1. Tecnología sustentable que no implica una gran inversión.

²⁵ Ríos, A. (2017). “Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium Perenne*, *Pelargonium Hortorum* Y *Fuertesimalva Echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017”.

²⁶ Hurtado-Huarcaya, J. & Albán, J. (2018). Conocimiento tradicional de la flora silvestre en las comunidades campesinas del Santuario Histórico de la Pampa de Ayacucho (Quinua, Ayacucho, Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 17(3), 286-301.

²⁷ Padmavathiamma, P. & Li, L. (2007). Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 184, 105-126.

	2. Permite y promoción el uso de especies nativas y/o endémicas.
Dimensión Ambiental	3. Poco perjudicial para el ambiente ya que su ejecución no implica el traslado o movilización del sustrato contaminado. 4. Permite el reciclaje y segundo uso de los desechos generados. 5. No requiere consumo de energía.
Dimensión Biológica	6. Puede ser realizada in situ y ex situ. 7. Permite el tratamiento de compuestos orgánicos e inorgánicos. 8. No altera la composición y equilibrio de los suelos o cuerpos de agua intervenidos.
Dimensión Social	9. Implica la participación comunitaria de la población local. 10.No demanda conocimientos especializados.

Fuente: Realización propia.

VI. ANALISIS COSTO BENEFICIO

En este apartado se contempla el conjunto de costos y beneficios que derivarían de la implementación de la presente iniciativa legislativa. **En primer lugar**, los costos podrán manifestarse de manera directa e indirecta. Por un lado, considerando que se trata de una propuesta de naturaleza declarativa; su ejecución está destinada principalmente a promover y difundir la necesidad de aplicar las estrategias de fitorremediación en las políticas públicas ambientales de recuperación y rehabilitación de ecosistemas afectados por la presencia de metales pesados. Acciones que como tales no demandan la formulación de presupuestos específicos, sino que implican la reformulación de las planes o directivas existentes, de manera que su conceptualización incluya estas medidas.

Por otro lado, es necesario indicar que dicha disposición (como se espera) podría acarrear costos indirectos relevantes relacionados a la investigación, innovación, adaptación e implementación de políticas públicas en la materia; los cuáles estarían encaminados a fortalecer las capacidades en materia de gestión ambiental de científicos, funcionarios públicos, autoridades locales y ciudadanos en general. Sumado a dicho componente y como se muestra en el siguiente cuadro, la inversión en tecnología capaz de asegurar una mayor eficiencia y eficacia es una necesidad considerando la diversidad climática que caracteriza a las regiones del país.

Costos	Dimensión	Actividad
DIRECTOS	Declarativa	Promoción de las estrategias de Fitorremediación.
		Difusión de los beneficios y ventajas de las estrategias de fitorremediación.
		Concientización de los riesgos y nivel de exposición a los metales pesados
INDIRECTOS	Implementación	Capacitación del personal técnico y funcionarios públicos en el uso, monitoreo y evaluación de técnicas de fitorremediación.
		Creación de programas públicos en localidades prioritarias.
		Creación de programas de aprendizaje social en las comunidades.

	Innovación	Fortalecimiento de las capacidades humanas de las instituciones competentes en materia de innovación agraria.
		Ensayos experimentales prolongados para comprobar la eficacia y seguridad de las especies vegetales utilizadas.
	Investigación	Financiamiento destinado a centros de estudios (universidades) para validar las estrategias de fitorremediación.
	Adaptación	Reformulación de las directivas ambientales o sectoriales a fin de incorporar oficialmente la fitorremediación.
		Reformulación y rediseño de tecnologías extranjeras de acuerdo a las condiciones climáticas del contexto nacional.

Fuente: Realización propia

Tomando en cuenta la exposición previa los costos de la difusión y promoción de la fitorremediación como tecnología de remediación ambiental no implican la inversión de grandes recursos materiales e inmateriales. Sin embargo, ello se transforma si dicha intervención plantea su implementación a través de políticas públicas en la materia. Lo cual puede condicionar parcialmente la ejecución sistemática de dicha propuesta. Más allá de ello, es fundamental considerar que los si bien los costos son naturalmente complejos; los beneficios directos e indirectos de priorizar y exponer el potencial de las estrategias de fitorremediación son exponenciales.

En segundo lugar, los beneficios directos responden de manera específica a la capacidad de gestión ambiental y reducción de las fuentes de exposición a metales pesados que afectan de manera sistemática el bienestar y la seguridad alimentaria de poblaciones vulnerables en su mayoría. La protección de derechos fundamentales ciudadanos, así como la defensa del equilibrio biológico de flora y fauna de ecosistemas esenciales para la diversidad característica del país se configuran como efectos tangibles y palpables de la priorización de las estrategias de fitorremediación.

Igualmente, la implementación de este tipo de intervenciones también significa la transformación y fortalecimiento de dimensiones adicionales, pero igualmente significativas como son la creación de un mercado asociado a la producción y comercialización de especies agrarias (semillas o plántulas) y nuevos puestos de trabajo a nivel local que articulen espacios de progreso económico y social. En esa misma línea, a través de la fitorremediación se abre una ventana de oportunidad para la capacitación y aprendizaje ciudadano en gestión ambiental como la consolidación del rol de las autoridades competentes en las materiales involucradas (ambiente e innovación agraria).

Por supuesto, otro beneficio perceptible como se muestra a continuación es la reducción de los costos de oportunidad frente a las alternativas tradicionales que demandan inversiones mayores para su materialización. Ya sea en el transporte de las áreas afectadas (de ser posible), la excavación de los suelos o la adquisición de químicos empleados para la intervención sobre los compuestos contaminantes; este tipo de “remediaciones” comprometen un número significativo de requerimientos para su funcionamiento o para asegurar resultados óptimos.

Beneficios	Dimensión	Manifestación
DIRECTA	Ambiental	Recuperación progresiva de ecosistemas terrestres y acuáticos afectados por la contaminación de metales pesados.
		Restauración de la cobertura vegetal y servicios ecosistémicos.

INDIRECTA	Sanitaria	Recuperación de la diversidad y equilibrio biológico de la fauna residente en los ecosistemas acuáticos y terrestres.
		Técnica no invasiva y compatible con zonas naturales protegidas.
		Disminución de las fuentes de exposición causantes de la afectación por metales pesados en la ciudadanía.
		Rehabilitación de las fuentes de agua (recursos hídricos) de consumo humano.
		Rehabilitación de los suelos utilizados para la producción agraria de consumo humano.
	Económica	Reducción de la inversión destinada al tratamiento de enfermedades asociadas a metales pesados (anemia, afecciones neurológica y renales).
		Reducción de los costos relacionados a la implementación de medidas de remediación ambiental tradicionales (transporte, excavación, químicos, etc.).
		Aprovechamiento de las especies nativas en zonas prioritarias (especies metalofitas).
		Uso productivo y comercial de las áreas recuperadas para actividades económicas sostenibles como la agricultura, silvicultura, ecoturismo, etc.
	Social	<u>Justicia ambiental:</u> Protección de comunidades vulnerables e históricamente afectadas por la contaminación de metales pesados.
		<u>Aprendizaje:</u> Fortalecimiento de las capacidades locales en la gestión ambiental y el uso de estrategias de fitorremediación.
		<u>Empleo:</u> Generación de puestos de trabajo a nivel local, especialmente en zonas rurales.
	Institucional	Fortalecimiento de la capacidad institucional de las autoridades competentes en gestión ambiental.
		Fortalecimiento de la capacidad institucional de las autoridades competentes en innovación agraria.
		Posibilidad de atraer cooperación internacional para investigación y pilotos.
		Alineamiento con compromisos climáticos y de salud ambiental del país.

Fuente: Realización propia.

Como se constata por la exposición anterior, los costos están directamente relacionados con la necesidad de implementar las estrategias de fitorremediación a nivel nacional pues se vinculan a aspectos de carácter administrativo e institucional. Fuera de ello, las ventajas o beneficios de optar y promover la fitorremediación como tecnología ambiental se constituyen sobre áreas esenciales para el desarrollo y bienestar de las personas como es desenvolverse en un medio ambiente saludable y equilibrado que les

permita acceder a bienes o alimentos prioritarios como agua para consumo humano o verduras o frutas que conforman la dieta básica.

La fitorremediación se configura en este contexto no solo como una herramienta de gestión ambiental sino como un medio de justicia y progreso para las comunidades más vulnerables a nivel nacional que requieren soluciones urgentes, sostenibles, viables y económicas que puedan ser ejercidas de manera autónoma, democrática y participativa.

VII. VINCULACION CON EL ACUERDO NACIONAL

La presente iniciativa legislativa se relaciona con los objetivos del acuerdo nacional en primera instancia fomentando una **mayor competitividad** (III) en el país mediante la política de Estado N° 19 de desarrollo sostenible y gestión ambiental. Las estrategias de fitorremediación como se ha expresado previamente están encaminadas a transformar la remediación y/o recuperación ambiental de ecosistemas terrestres y acuáticos contaminados mediante la innovación. La fitoestabilización, rizofiltración, fitoextracción, etc., sin alternativas que justamente permiten un reconocimiento y trabajo articulado dependiendo de las condiciones y naturaleza del entorno intervenido.

Lo cual puede generar de manera adicional el surgimiento de un mercado que opere en respuesta a la demanda de semillas o plántulas que sean efectivas, eficientes y sostenibles para la absorción, metabolización y modificación de los grados o niveles de toxicidad de metales pesados como el cadmio, mercurio, plomo, arsénico, etc. Dicha necesidad a su vez está directamente relacionada con la creación de nuevos empleos o puestos de trabajo en las localidades vulnerables.

Sumado a ello, está propuesta tiene la finalidad promover la **seguridad alimentaria (política de Estado N° 15)** de los ciudadanos; pues justamente la gestión ambiental de los espacios contaminados incide de manera directa en la calidad y composición de los productos que consumen. Es el caso del agua para consumo humano o diversas frutas o verduras que son plantadas y cosechadas haciendo uso de insumos o espacios que se encuentran contaminados. Es fundamental reconocer que la sanidad de estos bienes de primera necesidad es un punto crítico para la calidad de vida de las personas y la protección de su salud; previniendo enfermedades o afecciones a largo plazo.