

## Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú

### Heavy metals and soil fertility at N Channel irrigation, Puno, Peru

**Julio Wilfredo Cano Ojeda**

Universidad Privada San Carlos, Facultad de Ingenierías, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Jr. Conde de Lemus N° 128, Puno. Perú.

Autor correspondiente: [julio.cano@upsc.edu.pe](mailto:julio.cano@upsc.edu.pe) (J. W. Cano Ojeda).

J. W. Cano Ojeda  <https://orcid.org/0000-0002-7334-1100>

#### RESUMEN

Las actividades mineras generan frecuentes conflictos de carácter ambiental motivo de la presente investigación, para determinar la presencia de metales pesados, caracterización de suelos y percepción de los productores de la irrigación Canal N - Cupi, por la contaminación de los recursos naturales en el ámbito de la cuenca Llallimayo; para ello se recolectaron sistemáticamente muestras de suelos en dos zonas, A (bajo riego) con cultivos forrajeros Rye gras y avena, y B (no irrigada) con pastos naturales y avena; analizadas las muestras mediante el método EPA Method 200.8 Rev.5.4 1994 Suelo Agrícola y, análisis de caracterización Methods of análisis for soils, plants and Waters of California, División of agricultural sciences E.U.A.; interpretando los resultados de los análisis indican que, el Mercurio con 259 y 249 mg/kg correspondientes a ambas zona superan los estándares de calidad ambiental (ECA) 6,6 mg/kg D.S. N° 011-2017-MINAM, y el análisis de caracterización calificando como: Textura franca y franco limosa, Materia Orgánica, Nitrógeno Total y Carbonatos bajos, pH moderadamente alcalinos en suelos irrigados y pastos naturales, ligeramente ácidos en suelos de avena bajo secano, Conductividad Eléctrica no salinos, Fósforo método Olsen medio, Potasio y Calcio altos, Magnesio medio, Sodio normal, Capacidad de Intercambio Catiónico alto en suelos irrigados bajo cultivo perenne y, medio en cultivo irrigado anual y en los no irrigados; concluyendo que: el Mercurio Supera los ECA constituyendo un riesgo para el ambiente y la salud, suelos con fertilidad media, los productores perciben que las actividades mineras contaminan los recursos agua y suelos.

**Palabras clave:** caracterización; contaminación; fertilidad; metales pesados; percepción

#### ABSTRACT

Mining activities generate frequent conflicts of an environmental nature with farmers. This research aims at determining the presence of heavy metals, characterization of soils and the perception of farmers of the Canal N - Cupi irrigation, due to the contamination of natural resources in the area of the Llallimayo basin; For this, soil samples were systematically collected in two areas, A (under irrigation) with Rye grass, forage crops and oats, and B (not irrigated) with natural pastures and oats; samples were analyzed using the method EPA Method 200.8 Rev.5.4 1994 Agricultural Soil and, characterization analysis Methods of analysis for soils, plants and Waters of California, Division of agricultural sciences USA; Interpreting the results of the analyzes indicate that, the Mercury with 259 and 249 mg/kg corresponding to both zones exceed the environmental quality standards (ECA) 6.6 mg/kg D.S. N° 011-2017-MINAM, and the characterization analysis qualifying as: Loamy and silty loam texture, Organic Matter, Total Nitrogen and Low Carbonates, moderately alkaline pH in irrigated soils and natural pastures, slightly acidic in oat soils under dry land, Non-saline electrical conductivity, medium Olsen phosphorus method, high potassium and calcium, medium magnesium, normal sodium, high cation exchange capacity in irrigated soils under perennial cultivation and, medium in irrigated annual cultivation and in non-irrigated ones; concluding that: Mercury Exceeds ECA constituting a risk for the environment and health, soils with medium fertility, framers perceive that mining activities pollute water and soil resources.

**Keywords:** characterization; pollution; fertility; heavy metals; perception

Recibido: 12-07-2021.  
Aceptado: 15-11-2021.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Las presiones de la población sobre el recurso suelo están llegando a niveles críticos, centrados sobre diez amenazas: erosión, pérdida del Carbono orgánico, desequilibrio de nutrientes, acidificación, contaminación, anegamiento, compactación, sellado, salinización y pérdida de la biodiversidad del suelo (FAO, 2016), como recurso no renovable está expuesto a múltiples peligros, como la contaminación por el uso excesivo de agroquímicos, derrame de químicos deforestación por las actividades humanas, provocando su degradación física química y biológica <http://www.fao.org/soils-2015/blog/el-suelo-el-sustentador-de-la-vida/en/>, por las frecuentes aplicaciones de agroquímicos en los campos de cultivo, constituyendo una fuente de contaminación para el suelo, aguas superficiales y manto freático debido a su transporte a través de los capilares secundarios (Tun-Canto et al., 2017). Las sustancias contaminantes pocas veces se dispersan en concentraciones uniformes en el ambiente, cuyo destino y medio de dispersión se dan en relación al tiempo y el espacio, afectando las interacciones de humanos y la biodiversidad como entes receptores.

La contaminación ambiental provocada por las actividades mineras pueden ocasionar efectos negativos sobre la agricultura en un mismo espacio territorial, ya que ambas actividades necesitan de los recursos tierra y agua (Del Pozo y Paucarmayta, 2014), los drenajes ácidos de mina, tienen un impacto negativo en la salud humana y el ambiente, por las concentraciones elevadas de elementos potencialmente tóxicos (Rivera Uría et al., 2020), los vertidos descontrolados de residuos producto de la flotación, concentración gravimétrica y escombreras caracterizadas por el alto contenido de metales pesados en los residuos mineros y suelos de su entorno, superando los valores máximos establecidos (Flores, 2011). La elevada estabilidad de los relaves en condiciones fisicoquímicas poco favorables para la movilidad de los metales, principalmente un pH alcalino, condiciones oxidantes y un alto contenido de sales. (Ramos-Gómez et al. 2012). 2015)

Por causas naturales como las precipitaciones, los metales pesados contenidos en los suelos poco permeables se dispersan con sus partículas por escorrentía hacia las zonas más bajas y causas de agua (Tun-Canto et al., 2017), las concentraciones altas de metales pesados en agua para riego constituyen un problema significativo para la agricultura la salud humana y la biodiversidad (Mancilla Villa et al., 2017). Los metales pesados salinizan los suelos, afectando su productividad (Guadarrama y Galvan, 2015). La piritita que contiene azufre genera drenaje ácido, contaminante conocido en la minería por sus efectos irreversibles, así como la tennantita mineral muy reactivo que contiene arsénico, y antimonio, muy tóxicos para los ecosistemas y la

salud humana (Chopard, 2017). Por otro lado la disponibilidad del arsénico en el suelo está relacionada con las características del suelo, siendo relevante el pH, y la textura arcillosa, que favorecen la oxidación del metaloide cuya movilidad es regulada por el pH, el intercambio catiónico y la reducción redox, influyendo en el contenido de arsénico en el suelo, mientras que en el medio rural la materia orgánica, la textura, los coloides y la humedad, disminuyen la cantidad y efecto contaminante del arsénico en el suelo (Díaz-Cartagena, 2020).

El yacimiento Jessica de Cía. Minera Aruntani SAC, ubicada en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa, departamento de Puno, perteneciente a la Compañía Anglo Gold Exploración, la cual en el 2000 inició la exploración geológica en la zona y, en el 2005 Joint Venture firma un acuerdo con Minera Aruntani, quien a partir de la fecha se hace cargo de los trabajos geológico-mineros (Valdez, 2014); es cuando las actividades de la minera Aruntani S.A.C. provocan la contaminación del río Azufrini que tributa sus aguas al río Llallimayo con óxidos, sedimentos de carbonato de calcio por encima de los estándares de calidad para neutralizar el arsénico, mercurio, plomo y otros metales pesados afectando a las actividades agropecuarias, causando enfermedades, mortandad, malformaciones, diarrea, abortos entre otros (Cutipa, 2018), conociendo qué, las aguas de los ríos Pataqueña y Azufrini, dan origen al río Chacapalca, que al unirse con el río Vilcamarca forman el río Ocuvi el mismo que toma el nombre de Llallimayo al pasar por el distrito de Llalli, cuyas aguas son represadas para el riego de cultivos en la irrigación Canal N.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en todas las microcuencas realizó en el 2012 un monitoreo de las aguas, encontrando Aluminio, Hierro Manganeseo y Arsénico en niveles por encima de los estándares de calidad ambiental; concluyendo que, la principal fuente de contaminación de las aguas de los ríos Llallimayo, Santa Rosa, Ayaviri y Pucará con metales pesados, es de origen natural, debido a la naturaleza geoquímica de la parte alta de la cuenca como, aguas termales drenajes ácidos de roca y, por vertimientos de aguas residuales industriales, municipales, mineros, residuos sólidos, camales, agro industriales (ANA, 2012), de manera similar, los pasivos mineros de la mina Cecilia (plomo-zinc), San Rafael y Arasi estarían contribuyendo a los procesos de contaminación registrados (Cornejo, y Pacheco, 2014). En tal sentido el presente trabajo tiene como objetivos: determinar la existencia de metales pesados en suelos irrigados y no irrigados, la caracterización y fertilidad de los suelos irrigados y no irrigados y, obtener la percepción de los productores de la irrigación Canal N - Cupi, sobre la contaminación de los recursos naturales en el ámbito de la irrigación Canal N, ubicada en la cuenca Llallimayo.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

**Lugar de estudio**

La investigación se realizó en la irrigación Canal N ubicada entre los distritos de Llalli y Cupi de la provincia de Melgar, región Puno, ubicada a una altitud de 3950,00 m.s.n.m. latitud este 294911,378 m. norte 8343943,106 m. irrigada por las aguas del río Llallimayo; la unión de los ríos Pataqueña y Azufrini forman el río Chacapalca, que al unirse con el río Vilcamarca forma el río Ocuvi el cual toma el nombre de Llallimayo al pasar por la ciudad de Llallí, hidrográficamente es efluente de la subcuenca del río Ramis y cuenca endorreica del Lago Titicaca (Aragón & Santibañez, 2003; ANA, 2012).

La investigación se llevó a cabo en el ámbito de la irrigación Canal N, en el mes de julio del 2021, temporada de seca en la región Puno. El área de estudio se dividió en dos zonas (A y B), la A irrigada con aguas de la irrigación Canal N río Llallimayo y B área no irrigada, con la finalidad de ver si las aguas de riego y actividades agropecuarias entre otras influyen en la contaminación fertilidad y caracterización de los suelos de la zona A, comparando los resultados de los análisis de laboratorio con los de la zona B no irrigada, área caracterizada por su poca actividad agrícola eminentemente forrajera (avena) bajo secano y, pastoreo extensivo.

**Muestreo de suelos**

Se aplicó muestreo sistemático en zigzag tomando un promedio de 3 submuestras por punto (parcela), considerando 6 parcelas instaladas con cultivos forrajeros perennes asociados (*Rye gras - Lolium perenne*), y 6 de cultivos forrajeros anuales (*Avena sativa*), mediante un muestreador de acero inoxidable a una profundidad de 0.20 m. sumando 18 submuestras de suelo por tipo de cultivo debidamente homogenizadas, obteniendo una sola

muestra de suelo por tipo de cultivo para el análisis de caracterización, y una sola muestra de la mezcla de ambos de la zona A (irrigada) para determinar metales pesados; procediendo de manera similar para la zona B (no irrigada) obteniendo 06 submuestras de suelo con pastos naturales, y 06 submuestras de dos parcelas de cultivo forrajero anual (avena), obteniendo de la mezcla previamente homogenizada una sola muestra de la zona B para determinar metales pesados y, una muestra de suelo por tipo de cultivo para el análisis de caracterización, considerando el protocolo guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).

**Análisis de metales pesados, caracterización y fertilidad de suelos**

La determinación de metales pesados en los suelos de las dos zonas se realizó en el laboratorio ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.; mediante el método EPA Method 200.8 Rev.5.4 1994 Suelo Agrícola y, en el laboratorio de aguas y suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria ubicado en la localidad de Salcedo - Puno, mediante un análisis de caracterización de propiedades relativamente permanentes de suelos obtenidas mediante Methods of análisis for soils, plants and Waters of California, División of agricultural sciences E.U.A. determinando: la textura, % de (Carbonato de Calcio, Materia Orgánica y Nitrógeno Total), pH, Conductividad Eléctrica en mmhos/cm, nutrientes disponibles en ppm. (P y K), cationes cambiables en me/100 mg (Al, Ca, Mg, K y Na), capacidad de intercambio de cationes CIC y, por cálculo suma de cationes. La interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio se realizaron considerando los criterios de calificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (United States Of Department Agriculture & (USDA), 1999),

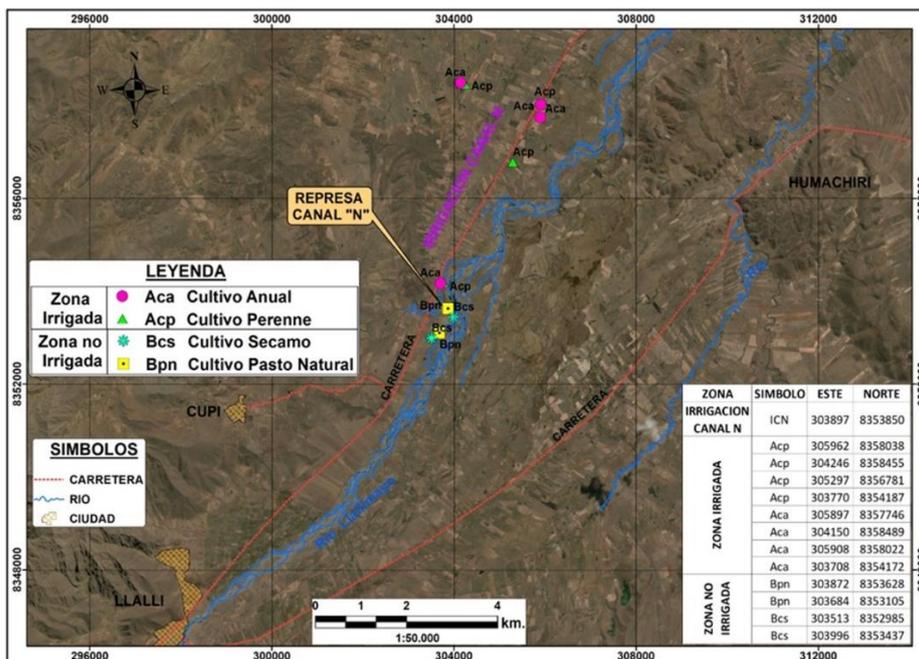


Figura 1. Ubicación geográfica Irrigación Canal N y puntos de muestreo. Fuente: Sincronización de ArcMap con Google Earth

### Encuesta de percepción

Con la finalidad de obtener información referente a la percepción de los productores de la irrigación Canal N, se aplicó un cuestionario a una muestra censal conformada por 56 productores (27 varones y 29 damas), distribuidas en cuatro grupos etarios,

de una población de 150 productores, a quienes se les aplicó un cuestionario de siete interrogantes relacionadas a sus medios de vida, actividades contaminantes realizadas en la cuenca y, sus probables efectos sobre el espacio físico (suelo, agua) del agroecosistema de la irrigación Canal N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contaminación por elementos inorgánicos

Los resultados del análisis de laboratorio presentados en la (Tabla 1) expresan niveles altos de Mercurio, tanto en suelos bajo riego como en los no irrigados, en concentraciones de 259 mg/kg y 249 mg/kg respectivamente, superando ambos el ECA 6,6 mg/kg para mercurio establecido según DS 011-2017 MINAM; la dispersión como factor determinante de los metales pesados se dan por arrastre de partículas de suelos que los contienen, lo que ocurre por escorrentía (Tun-Canto et al., 2017); el mercurio podría provenir de las volatilizaciones de los vapores en los procesos de reducción y metilación por la actividad bacteriana del suelo, originando la aparición de compuestos orgánicos volátiles de mercurio fácilmente absorbidos por el sistema coloidal, los óxidos de hierro y un pH por encima de la neutralidad (Alvarado, 2018), constituyendo un alto riesgo para el ambiente y la salud de las personas, por el consumo de carnes y productos lácteos de ganado alimentado con forrajes y pastos cultivados bajo riego y, en suelos con aptitud ganadera bajo secano; existiendo evidencias documentadas de suelos fuertemente contaminados por las actividades mineras (Alloway, 2013), así como actividades industriales que pueden influir en la composición de la leche y carne de vacunos que ingieren agua, pastos y forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) durante el pastoreo, y las condiciones del cultivo sumando la concentración de metales pesados presentes en el agua, suelo y plantas (Pamela et al., 2014). Bose & Chakraborty (2016) indican que la presencia de metales en el ambiente se da en forma natural y antropogénica, movilizándose entre el agua, suelo y aire. Advirtiendo que, el Mercurio, Cadmio, Plomo, Níquel, Antimonio y Bismuto pueden ocasionar algunas disfunciones a nivel orgánico en los seres vivos por su alta toxicidad y, a su propiedad de acumularse progresivamente (Chaves-Vallarino, 2011).

### Caracterización y fertilidad de los suelos

El suelo es un recurso esencial para el desarrollo de las actividades agropecuarias, constituyendo el

medio de vida para los productores agrarios de la irrigación Canal N; la pérdida de su fertilidad se refleja en una gradual baja de su productividad, todo debido a una serie de prácticas inadecuadas observadas en la irrigación como, malas prácticas en el uso del agua de riego por inundación, mono cultivo en base al cultivo de avena forrajera tanto en las áreas irrigadas como en las no irrigadas, el sobrepastoreo de los pastos cultivados perennes (Rye grass, trébol) y de los pastos naturales bajo secano, al respecto Zamora-Morales et al. (2019) expresan que, las actividades agropecuarias bajo inadecuadas prácticas, ha conllevado, a distintos niveles de deterioro a los suelos mexicanos. Bernal et al. (2015) menciona qué, al hablar de factores limitantes hace referencia a las características de los suelos que influyen en su productividad y el rendimiento de acuerdo con la especie cultivada.

Lo expresado se refleja en cierta medida en la (Tabla 2) cuyos resultados producto del análisis de caracterización y fertilidad de los suelos de las áreas con pastos cultivados permanentes y anuales bajo riego, así como suelos de áreas con cultivos forrajeros anuales bajo secano y pastos naturales; encontrando qué, los suelos de ambas zonas presentan una textura franca en suelos irrigados bajo cultivos forrajeros perennes y franco limosas en los suelos irrigados con cultivo forrajero anual y, de ambos de la zona bajo secano; al respecto indican que: La textura franca es la más apropiada, a medida varía hacia ambos extremos se van derivando inconvenientes como extrema o baja retención de humedad y aireación, la CIC entre otros (Gisbert et al., 2008); además, la textura a pesar de ser una de las propiedades más estables del suelo puede ser alterada gradualmente por el manejo inapropiado, siendo necesario la observación frecuente por especialistas a fin de mantener una estructura apropiada (United States Of Department Agriculture & (USDA), 1999), ya que, el tamaño de las partículas texturales de un suelo define los límites de reserva total de agua disponible para las plantas, esencial para un riego planificado (Herrera-Puebla et al., 2018).

**Tabla 1**

Niveles de concentración de elementos inorgánicos en suelos irrigados y no irrigados, irrigación Canal N distrito Cupi, según D S N° 011-2017-MINAM (ECA)

Elementos inorgánicos	Suelos Irrigados Concentración mg/kg	Suelos no Irrigados Concentración mg/kg	ECA - DS 011 2017 MINAM	Riesgo Ambiental
As	0,10	0,10	50	
Hg	259	249	6,6	**
Cd	0,020	0,020	1,4	
Cr	0,03	0,03	0,4	
Pb	0,20	0,20	70	
Ba t <sup>15</sup>	193	291	750	

**Tabla 2**

Caracterización de propiedades relativamente permanentes del estado de fertilidad y condiciones alterables de suelos bajo riego y secano de la irrigación Canal N - Cupi

Parámetros	SUELOS BAJO RIEGO				SUELOS BAJO SECANO			
	Cultivo perenne	Calificativo	Cultivo anual	Calificativo	Pastura natural	Calificativo	Cultivo secano	Calificativo
Textura		F		FL		FL		FL
CaCO <sub>3</sub> %	2,72	Medio	0,88	Bajo	0,00	Bajo	0,00	Bajo
MO % (frio)	2,01	Bajo	2,00	Bajo	1,97	Bajo	2,00	Bajo
N T %	0,075	Bajo	0,074	Bajo	0,073	Bajo	0,074	Bajo
pH	7,813	MA	8,081	MA	8,353	MA	6,416	LA
CE mhos/cm	0,246	No salino	0,664	No salino	0,159	No salino	0,325	No salino
P ppm Olsen	9,88	Bajo	9,60	Bajo	9,00	Bajo	9,75	Bajo
K ppm	1348,88	Muy alto	1371,30	Muy alto	1505,27	Muy alto	1133,84	Muy alto
Al me/100 g	0,00	SP	0,00	SP	0,00	SP	0,00	SP
Ca me/100 g	20,00	Alto	17,90	Alto	8,00	Medio	10,80	Alto
Mg me/100 g	2,10	Alto	2,10	Alto	0,40	Bajo	2,80	Alto
Na me/100 g	0,15	Normal	0,07	Normal	0,06	Normal	0,06	Normal
K me/100 g	0,84	Alto	0,92	Alto	0,89	Alto	0,67	Alto
CIC me/100 g	24,00	Alto	2,00	Medio	10,00	Medio	15,00	Medio
Suma cationes	23,09	Alto	20,99	Alto	9,35	Bajo	15,33	Medio

MA: Moderadamente alcalino; LA: Ligeramente alcalino; SP: Sin problema.

El pH de los suelos estudiados muestra valores que lo califican como moderadamente alcalinos con valores de 8,83 a 8,35 en la zona irrigada y área con pastos naturales y ligeramente ácido con 6,42 en suelos no irrigados cultivados con avena. El pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y la textura de cualquier suelo, constituyen parámetros básicos, por ser indicadores acerca de sus principales características, dependiendo de sus resultados se procederá al análisis de otros parámetros (Fuentes Aguilar, 1971). El pH es un parámetro de suma importancia, dependiendo de ello una serie de funciones relacionadas con los cultivos, como la asimilación de nutrientes por los cultivos, el desarrollo de la microflora y la generación de iones que pueden resultar tóxicos para las plantas (Bernal et al., 2015). En cuanto a la CIC exhiben valores de 20 a 24 me/100 g. en ambos suelos irrigados calificando como altos, y de 10 y 15 me/100 g. en ambos suelos no irrigados como medios. Considerando que la región altiplánica con características edáficas y climatológicas similares con aptitud eminentemente ganadera, la misma que abarca la mayor parte del territorio de la región Puno (Perú) y parte del país de Bolivia, es valedero mencionar qué. La composición iónica de una determinada solución depende de los procesos de disolución y precipitación que se presenten en las soluciones, siendo el nivel de saturación con bases de los suelos estudiados alto, en la mayoría de los suelos del Altiplano boliviano, por otro lado, los cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) son generalmente bajos (Orsag et al., 2013). La Conductividad Eléctrica se encuentra en el rango de 0,159 a 0,664 mhos/cm calificando como no salinos, correspondiendo la concentración más baja a los suelos con pasturas naturales, lo que indica que las aguas de riego podrían contribuir con el depósito gradual de sales en los suelos, al respecto Lamz & González (2010) mencionan qué, las inapropiadas prácticas en la conducción de cultivos y el mal manejo del agua de riego, muchas veces transportan sales de un lugar a otros.

Respecto a la materia orgánica MO, Nitrógeno total y nutrientes disponibles (Fosforo y Potasio), los análisis exhiben valores entre 2 y 2,01 % de MO en suelos irrigados, y 1,97 a 2 para ambos suelos no irrigados calificando ambas zonas como bajos, considerando el clima frígido y seco de la región Puno, ya que, las condiciones edafológicas y climáticas, influyen en la capacidad de acumular MO en los suelos (Marquéz, 2017), en condiciones favorables provocan una mayor concentración del carbono orgánico en el suelo (Huamán-Carrión et al., 2021), influyendo favorablemente en la fertilidad y productividad de los cultivos al mejorar sus propiedades biológicas y fisicoquímicas (García-Gallegos et al., 2020). En cuanto al Nitrógeno total de 0,073 a 0,075 % (bajo), en Fósforo con valores entre 9 y 9,88 ppm (medio) tanto en suelos irrigados como en los no irrigados; por lo observado in situ una de las probables causas es el mal manejo de los suelos. Las propiedades del suelo, las condiciones ambientales la compactación por laboreo y las plantas, influyen en la disponibilidad de fósforo (Gueçaimburu et al., 2019), dependiendo también de la actividad de los microorganismos, el pH, MO La CIC y la concentración de microelementos (García-Gallegos et al., 2020). Corroborando al respecto menciona qué, la materia orgánica influye directa o indirectamente sobre las características físicas, químicas y biológicas de un suelo como la densidad aparente, porosidad total, aeración, la fertilidad, CIC, humedad, coeficiente de dispersión de las partículas, actividad biológica y contenido de nutrientes sobre todo en nitrógeno (Atencio et al; 2018). Finalmente, el contenido de Aluminio (Al) fue nulo en todos los suelos probablemente al contenido alto de Ca, K y Mg intercambiables de los suelos; al respecto, Darío y Giraldo, (2020) concluyen que, la aplicación de fuentes de calcio en suelos ácidos, neutralizaron al aluminio (Al) mejoraron el pH y disponibilidad de otros nutrientes solubles en el suelo

### Percepción de los productores de la irrigación Canal N

La Tabla 3 presenta la percepción de los productores de la irrigación Canal N referente al impacto de las actividades extractivas sobre el espacio físico del ámbito en el que realizan sus actividades productivas especialmente pecuarias; aplicado el cuestionario a 56 productores entre damas y varones asistentes a una reunión de capacitación realizada por el Proyecto "Desarrollo humano, calidad educativa y equidad de género en los distritos de Humachiri, Llalli, Cupi y Macari de la provincia de Melgar - Puno" de los cuales el 100% respondió dedicarse a las actividades agropecuarias; a la interrogante ¿Con qué frecuencia han ocurrido protestas en contra de la minería? El 71% respondieron que se suscitan más de dos protestas por año y el 29% una por año, Respecto al problema que más afecta a su comunidad el 95% respondió la contaminación del agua y el 5% la contaminación del agua, suelo y aire. A la interrogante ¿Qué actividad es la principal causa de los problemas ambientales en su comunidad? entre las alternativas (la minería, la agricultura, ganadería, agroindustria, aguas residuales y, los residuos sólidos) el 100% respondió la minería; finalmente a la interrogante ¿La contaminación en la cuenca

disminuyó desde que la minera Aruntani SAC dejó de extraer minerales? El 86% respondió que no disminuyó y, el 14% un poco.

Los conflictos producto de las interacciones humanas tienen características sociales, políticas y jurídicas, involucrando varios factores de juicio, valoraciones y oposiciones dando lugar al conflicto, por la confrontación de intereses y poderes (Quintero et al., 2017), un conflicto socio ambiental se caracteriza por la movilización de comunidades y movimientos sociales, muchas veces contando con el apoyo de redes nacionales e internacionales, particularmente en contra de actividades económicas que impactan sobre el ambiente, punto clave de sus protestas (PNUD México-INECC, 2017), es así que, las actividades minero metalúrgicas tiene relación directa con los conflictos socioambientales en el Perú, la Defensoría del Pueblo reportó 145 conflictos socioambientales desde algo más de una década, siendo la contaminación minera la más recurrente (Mary, 2014). Cutipa (2018) determinó que en los yacimientos mineros de Aruntani S.A.C., filtran óxidos y sulfuros al río generan los conflictos sociales, como resultado de la contaminación del medio ambiente.

**Tabla 3**

Percepción de los productores de la irrigación Canal N referente al impacto de las actividades extractivas de recursos naturales sobre el ambiente físico

Interrogante de percepción	GRUPO ETARIO								TOTAL	%		
	20 - 29		30 - 39		40 - 49		50 - Mas			M	F	
Sexo	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
N°	03	04	08	05	04	13	12	07	27	29	48	52
¿Cuál es su actividad económica o medio de vida?												
• Agropecuaria	07		13		17		19		56		100	
• Obrero en minería	-		-		-		-		-		0	
• Empleado público o privado	-		-		-		-		-		0	
• Comerciante u otro	-		-		-		-		-		0	
¿Con qué frecuencia han ocurrido protestas en contra de la minería?												
• Cada dos años o más	-		-		-		-		-			
• Una por año	01		06		01		08		16		29	
• Más de una protesta por año	06		07		16		11		40		71	
¿Cuál de los siguientes problemas considera que afectan a su comunidad?												
• Contaminación del agua	4		13		17		19		53		95	
• Contaminación del suelo	-		-		-		-		-		-	
• Contaminación de aire	-		-		-		-		-		-	
• Los tres (agua, suelo y aire)	03		-		-		-		3		5	
¿Qué actividad es la principal causa de los problemas ambientales en su comunidad?												
• La minería	07		13		17		19		56		100	
• Agricultura, ganadería agroindustria	-		-		-		-		-		-	
• Aguas residuales	-		-		-		-		-		-	
• Residuos sólidos	-		-		-		-		-		-	
¿La contaminación en la cuenca disminuyó desde que la minera Aruntani SAC dejó de extraer minerales?												
• Si	-		-		-		-		-		-	
• Un poco	01		02		01		04		8		14	
• No	06		11		16		15		48		86	

### CONCLUSIONES

El Mercurio (Hg) supera los Estándares de Calidad Ambiental según el DS 011-2017 MINAM, constituyendo un alto riesgo para el ambiente y la salud humana. Los suelos con cultivos permanentes y cultivos anuales bajo riego, de

acuerdo con sus características fisicoquímicas en promedio son de fertilidad media y, los suelos bajo cultivo anual (avena forrajera) no irrigados y áreas con pastos naturales son de fertilidad de baja a media. Los productores de la irrigación Canal N

perciben que la actividad minera es la principal fuente de contaminación de los recursos agua y suelos, provocando frecuentes protestas de las comunidades ubicadas en el ámbito de la cuenca Llallimayo en contra de la minera Aruntani SAC. Recomendando realizar análisis bromatológico de

los forrajes, productos cárnicos y lácteos producidos en el ámbito de la irrigación para determinar el probable contenido de elementos inorgánicos especialmente mercurio, así como su origen

### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos de Puno por subsidiar la investigación.

A la Dirección de Investigación y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A; Etcheverns, J. C. J. (2005). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Análisis técnicos, S.A de C.V., 1987, 1,15.
- Alejandro Mendel-Reyes, L. Y. M. R.-G. J. A., Luis Godinez, M. R., Ricardo Guerra, & Francisco Rodríguez. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 28(1), 27-38.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils*. Springer Editorial. 614 p.
- Aragon Graneros, L., & Santibañez Machuca, A. (2003). Estudios integrales de los recursos hídricos de la cuenca del río Ramis Componente: Recursos Hídricos Superficiales Sub Componente: Inventario De Fuentes De agua superficial. 84.
- Atencio, C. Herrera. Mendoza, Claudia Díaz, & Sánchez, K. (2018). Características físico-químicas de suelos con relación a su conformación estructural. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 6, 58-69.
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). Monitoreo de la calidad de agua superficial de los ríos Llallimayo, Santa Rosa, Ayaviri y Pucara. Dirección de gestión de la calidad de los recursos hídricos, 44.
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., & González, P. J. (2015). Características De Los Suelos Y Sus Factores Limitantes De La Región De Murgas, Provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 30-40.
- Bose, S. K., y Chakraborty, U. C. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria Heavy. *The Indian Journal of Pediatrics*, 24(1), 14.
- Cesar, A. O. A. (2018). "Evaluación de parámetros inorgánicos establecidos en los estándares de calidad ambiental para suelos (D.S. N° 011 - 2017 MINAM); distrito de Simón Bolívar - provincia de Pasco.
- Chaves-Vallarino, C. (2011). Detección de metales pesados en agua. Instituto nacional de astrofísica óptica y electrónica - Tonantzintla, Puebla, 62.
- Chopard, A. y W. S. (2017). Megaminería y agua en Intag: una evaluación independiente. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Cutipa, H. S. (2018). Actividad minera de la empresa Aruntani S.A.C. y su Influencia en los Conflictos Sociales de la provincia de Lampa, Región Puno - 2019. 051, 363543.
- Dalmiro A., Cornejo O., y M., P. (2014). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno - Perú. *Revista de Investigaciones de la Escuela de Posgrado de la UNA PUNO*, 5(4), 14.
- Darío, R., & Giraldo, D. (2020). Efecto de la aplicación de las fuentes convencionales de calcio (cales) en el suelo, en la concentración de Ca en tejido y en la biomasa del pasto kikuyo. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 113-126.
- Del Pozo, C., & Paucarmayta, V. (2014). Cómo impacta la minería en la producción agropecuaria del Perú. *Economía y Sociedad*, 87, 6-12.
- Díaz-Cartagena, J. (2020). Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacubamba, Patate, mediante procedimientos secuenciales y alternos " Tesis Para optar el Grado de doctor; Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Agricultura y Recursos Naturales Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. División de agriculture Research and Extension, 2.
- FAO. (2016). Estado mundial del recurso del suelo (EMRS) - Resumen Técnico. En FAO.
- Flores, A. N. (2011). Tratamiento pasivo de lixiviados mineros mediante materiales reactivos. Grupo Consolidado de Geología Económica, 1-20.
- Fuentes Aguilar, L. (1971). Interpretación y análisis de suelos. *Investigaciones Geográficas*, 1(4).
- García-Gallegos, E., Vázquez-Cuecuecha, O. G., Chávez-Gómez, J. A., Hernández-Acosta, E., & López-López, A. (2020). Relationship between edaphic parameters and postharvest quality criteria of *Prunus persica* (L.) Batsch fruits by multivariate analysis. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 565-573.
- Gisbert, J., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2008). La textura de un suelo. Universidad Politécnica de Valencia.
- Guadarrama, B., María E., & Galvan Fernández, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7), 23.
- Gueçaimburu, J. M., Vázquez, J. M., Tancredi, F., Reposo, G. P., Rojo, V., Martínez, M., & Introcaso, R. M. (2019). Evolution of available phosphorus at different levels of compaction by agricultural traffic in a typical argiudol. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(1), 81-89.
- Herrera-Puebla, J., López-seijas, T., & González-, F. (2018). Estimation of Water Available for Plants in Cuban Soils as a Function of Prevailing Texture. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(4), 1-7.
- Huamán-Carrión, M. L., Espinoza-Montes, F., Barrial-Lujan, A. I., & Ponce-Atencio, Y. (2021). Influence of altitude and soil characteristics on organic carbon storage capacity of high Andean natural pastures. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 83-90.
- Lamz, A., y González, M. C. (2010). Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) durante el período vegetativo. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 76-81.
- Mancilla Villa, O. R., Fregoso Zamorano, B. E., Hueso Guerrero, E. J., Guevara Gutiérrez, R. D., Palomera García, C., Olgún López, J. L., Ortega Escobar, H. M.,

- Medina Valdovinos, E. K., & Flores Magdaleno, H. (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquilla-Tuxcacuesco-Armería. *Idesia (Arica)*, 35(3), 115-123.
- Márquez, F. G. (2017). Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 261 p.
- Mary, C. Q. (2014). Análisis de los monitoreos ambientales realizados en zonas de influencia de las operaciones mineras de la Unidad Minera Tintaya Espinar – Cusco. Oxfam. 84p.
- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. 38.
- Orsag, P, L. L., Y, O. P., & R, E. C. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. *T'inkazos. Revista Boliviana de Ciencias Sociales*, 33, 89-112.
- Pamela, K., Ledezma, R., Pedro, C., & Revilla, E. (2014). Heavy Metal Contamination. Heavy Metal Contamination of Water and Soil, 51-51.
- PNUD México-INECC. (2017). Mapeo y análisis espacial de conflictos ambientales en México. Informe Final. Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México. Serie 2: Evaluación y mapeo de la vulnerabilidad y los riesgos climáticos, 71.
- Quintero, C. A. M., Londoño, L. F. G., & Londoño, A. A. H. (2017). Conflictos socioambientales: Entre la legitimidad normativa y las legitimidades sociales. Caso mina la Colosa, Cajamarca (Tolima, Colombia). *Revista Luna Azul*, 44, 165-176.
- Rivera Uría, M. Y., Romero, F. M., Sedov, S., & Solleiro Rebolledo, E. (2020). Carbonatos pedogénicos para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM). Experimentos de laboratorio. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(1), 1-16.
- Tun-Canto, G. E., Álvarez-Legorreta, T., Zapata-Buenfil, G., & Sosa-Cordero, E. (2017). Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México. *Rev. Mex. de Cienc. Geol.*, 34(3), 157-169.
- United States Of Department Agriculture, & (USDA). (1999). Soil Quality Test Kit Guide. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 88.
- USDA. (2011). Soil Health Quality Indicators: chemical Properties, soil electrical conductivity. 3.
- Valdez, J. C. L. (2014). Optimización de la recuperación metalúrgica mediante el proceso de chancado en el tajo Jessyca periodo 2013-2014. Tesis Título Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú.
- Zamora-Morales, B. P., Mendoza-Cariño, M., Sangerman-Jarquín, D. M., Navarro Bravo, A., & Quevedo Nolasco, A. (2019). La investigación científica en México: secuestro de carbono orgánico en suelos agrícolas y de agostadero. *Rev. Mex. de C. Agríc.*, 10(1), 155-164.