

ARTÍCULO ORIGINAL

# METALES PESADOS Y APTITUD AGROPECUARIA DEL AGUA EN UNA IRRIGACIÓN

## HEAVY METALS AND AGRICULTURAL SUITABILITY OF WATER IN AN IRRIGATION

Julio Wilfredo Cano Ojeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada San Carlos, Facultad de Ingenierías, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Jr. Conde de Lemus N° 128 Puno. Email:

### RESUMEN

La investigación se realizó en la irrigación Canal N, ubicada entre los distritos de Llalli y Cupi de la provincia de Melgar región Puno, a una Altitud de 3950.00 m.s.n.m. latitud este 294,911.378 norte 8343,943.106 irrigada por las aguas del río Llallimayo, con el objetivo de evaluar la calidad del agua para verificar la presencia de metales pesados de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 D.S. 004-2017-MINAM y su aptitud según normas Riverside; por los constantes conflictos socioambientales suscitados en la cuenca, atribuidos a las actividades realizadas por la empresa minera Aruntani SAC. Se recolectaron seis muestras, tres de aguas arriba (río) y tres aguas abajo red de distribución de la irrigación Canal N, para evaluar el contenido de metales pesados y parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y carbonato sódico residual, aplicando el método de ensayo acreditado Plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para metales pesados, y calificar su aptitud para el riego de vegetales y bebida para animales de acuerdo a los ECA y, normas Riverside nomograma. Ninguno de los metales pesados superó los ECA categoría 3 D1 y D2, por consiguiente, son aptas para riego y consumo animal; referente a la T° 11,47, pH 8,29, CE. 0,423 mhos/cm, RAS 11,42 y CSR 2,42 califican como C1 aceptable, S3 riesgosa y no recomendable respectivamente; Según el Nomograma de Riverside (USDA) califica como agua de buena calidad apta para riego.

**Palabras clave:** metales pesados, parámetros fisicoquímicos, aptitud agropecuaria, ECA.

### ABSTRACT

The research was carried out in the irrigation water Channel N located between the districts of Llalli and Cupi of the province of Medgar Puno region, at an altitude of 3950.00 m.s.n.m. East latitude 294,911,378 m. north 8343,943,106 m. irrigated by the waters of the Llallimayo river, with the objective of: evaluate water quality to verify the presence of heavy metals according to the Environmental Quality Standards category 3 D.S. 004-2017-MINAM and their suitability according to Riverside standards; by the constant socio-environmental conflicts raised in the basin, attributed to the activities carried out by the mining company Aruntani SAC. Six samples were collected, three upstream and three downstream of the Channel "N" irrigation distribution network, to evaluate the content of heavy metals and physicochemical parameters such as temperature, pH, electrical conductivity, ratio of absorption of sodium and residual sodium carbonate, applying the accredited Inductively Coupled Plasma Test Method (ICP-OES) for heavy metals, and qualify their ability to irrigate vegetables and animal drink according to ECA (Quality Standards) and Riverside Nomogram. None of the heavy metals exceeds ECA category 3 D1 and D2, therefore, it is suitable for irrigation and animal consumption; referring to T° 11.47, pH 8.29, CE. 0.423 mhos/cm, RAS 11.42 and CSR 2.42 qualifying as acceptable, S3 risky and not recommended respectively; According to the Riverside Nomogram (USDA) it qualifies as good quality water suitable for irrigation.

**Keywords:** heavy metals, physicochemical parameters, agricultural aptitude, ECA.

\*Autor para correspondencia: [julio.cano@upsc.edu.pe](mailto:julio.cano@upsc.edu.pe)

## INTRODUCCIÓN

La creciente y variadas demandas por el agua, generalmente, por encima de su disponibilidad hídrica viene provocando una gran insatisfacción debido a la reducción de los caudales ambientales, indispensables para lograr un equilibrado estado ecológico (Chávez y González, 2015). En la Región Puno, la cuenca del lago Titicaca se encuentra gravemente impactada por la descarga de metales pesados, aguas originadas durante los procesos empíricos de lixiviación del oro con mercurio realizados por la minería informal e ilegal en sus afluentes (Ramis, Suches), de aguas servidas de origen doméstico sin el tratamiento previo, y el arrojado de residuos sólidos en sus riberas (Palacios, 2017). La contaminación del suelo, agua, plantas y animales como consecuencia de la industrialización, explotación minera, aplicación indiscriminada de agroquímicos entre otros, vienen generando un significativo aumento de metales pesados tales como: mercurio, plomo, arsénico, cadmio, cobre, cromo; a ello se suman factores climáticos, la desertificación, pérdida de flora y fauna; aumentando la amenaza de los metales en la naturaleza (Londoño Franco et al. 2016). Constituyendo un grave problema que compromete la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Bose y Chakraborty, 2016).

La generalidad de los metales pesados afectan seriamente la salud de los seres humanos y a la de otros organismos, así el Cadmio absorbido

especialmente por el consumo de gramíneas como el arroz, trigo y, el consumo de agua con altos contenidos hacen que se localice en el hígado, riñones tejido óseo, especialmente en el tejido adiposo y pulmones provocando el mal del Itai-Itai como consecuencia de las actividades mineras; el mercurio de origen volcánico y efluentes residuales procedente de la industrialización del cemento, baterías, pesticidas y otros que por biotransformación (Castro-González *et al.* 2019). Van accediendo al ambiente, incrementando su potencial tóxico como derivados dimetilados y fenólicos, que, con el agua oxigenada y pH ácido, pasan al agua y el suelo; el Plomo provoca la enfermedad del saturnismo y consecuentemente la anemia, parálisis, dolor de cabeza y alteraciones enzimáticas alojándose en el tejido adiposo y huesos (Marín, 2008)

La contaminación ambiental ocasionada por las operaciones mineras pueden afectar las actividades agrícolas cuando ambas se desarrollan en un mismo espacio territorial, considerando que ambas actividades productivas requieren los recursos: tierra y agua (del Pozo y Paucarmayta, 2014). El uso de aguas para riego con alto grado de concentración de metales pesados, constituyen un gran problema para la agricultura, para la salud humana y la biodiversidad (Mancilla-Villa *et al.*, 2011). Por la aplicación de agua contaminada para riego agrícola, provocando con el tiempo, la acumulación gradual de metales pesados, y el riesgo de salinización (Pérez y Hernández, 2016).

Consecuentemente, las aguas alteradas pueden ser el origen de numerosas patologías que afectan a la explotación ganadera (Moreno et al. 2005). La presencia de metales y arsénico en el suelo demuestran una acumulación importante, sustentada con los valores del índice de geoacumulación lo que indica contaminación, especialmente de cadmio y zinc, debido a las actividades agropecuarias e industriales, (Castro-González *et al.* 2019). El arsénico presente en el agua, es uno de los elementos con mayor efecto sobre la salud humana y animal (Borbolla-Sala *et al.* 2003). Ya que su movilidad está supeditada por las condiciones redox y el pH. (Galindo *et al.* 2005).

Una de las fuentes de contaminación con metales pesados de los ríos Llallimayo, Santa Rosa, Ayaviri y Pucará, son de origen natural, por las condiciones geoquímicas de la cuenca alta, así, el Arsénico que altera las aguas del río Llallimayo, se encuentra antes de su confluencia con los ríos Macarimayo y Santa Rosa (Autoridad Nacional del Agua, 2012). Lo que podría 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 aire, agua, suelo y plantas (Bose y Chakraborty, 2016). El peligro de los metales pesados aumenta debido a, que no se degradan química ni biológicamente una vez liberados, permaneciendo cientos de años, incrementando su concentración por bioacumulación debido a la ingestión de plantas o animales contaminados

(Chaves, 2011). Esto se explica por la tendencia natural de los metales a precipitar y a su baja solubilidad (Contreras, 2004). Por lo expuesto, la calidad del agua se ve enormemente afectada por el vertimiento de producto industriales, agrícolas, aplicación de agroquímicos constantemente evacuados a las aguas superficiales y subterráneas, ocasionando una contaminación irreversible (Fasano, 2011).

Los objetivos del estudio fueron: Determinar la concentración de metales pesados en el agua del río Llallimayo Irrigación Canal N del distrito de Cupí, y su aptitud de acuerdo a los ECAs categoría 3 D.S. 004-2017-MINAM y, Evaluar si las aguas de la Irrigación Canal N del río Llallimayo del distrito de Cupí son aptas para riego de vegetales, de acuerdo a sus características fisicoquímicas y normas Riverside.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Lugar de estudio**

La investigación se realizó en la irrigación Canal N ubicada entre los distritos de Llalli y Cupí de la provincia de Melgar, región Puno, ubicada a una altitud de 3950.00 m.s.n.m. latitud este 294,911.378 m. norte 8343,943.106 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 Ocuviuri 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 Graneros y Santibañez Machuca, 2003; ANA, 2012) .

## Muestreo

Se recogieron seis muestras de agua, considerando los protocolos para el muestreo, tres aguas arriba tramo río (puente Llalli - represa Canal N), A<sub>1</sub> puente Llalli hora 9,20 a.m. coordenadas (19L 02298077 - 8346478), A<sub>2</sub> Alto Corani hora 10,30 a.m. coordenadas (19L 0304077 - 8353227), A<sub>3</sub> bocatoma hora 10,55 a.m. coordenadas (19L 0303965 - 8353684), y tres muestras aguas abajo tramo (represa - final red primaria de distribución de la irrigación), puntos B<sub>1</sub> Bocatoma hora 11,22 a.m. coordenadas (19L 0303778 - 8354167), B<sub>2</sub> hora 11,44 a.m. Tambo Corani coordenadas (19L 0303608 - 8355770) y B<sub>3</sub> Aquesaya hora 12,41 coordenadas (19L 0304320 - 8358495), Simultáneamente se recogieron otras seis muestras tres por curso, obteniendo una muestra integrada por curso (Londoño Carvajal et al. 2010), para determinar la temperatura, pH, conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio (RAS) y carbonato sódico residual (CSR) y analizar su aptitud para el riego de vegetales; la recolección se realizó en octubre del 2019, periodo caracterizado por presentar precipitaciones de intensidad, frecuencia y duración baja, la temporada de toma de muestras es caracterizada por inicio de campaña agrícola en la región Puno. Durante los períodos secos debido a la escases de precipitaciones baja el pH, por una mayor concentración de la mayoría de iones en solución (Balmaseda y García, 2013).

## Análisis físico-químico

Las temperaturas, pH y conductividad se tomaron in situ haciendo uso de un multiparámetro portátil marca HANNA, la

determinación de metales y elementos traza en aguas se realizó en el laboratorio acreditado INACAL registro LE-050 LAS (Laboratorios Analíticos del Sur), región Arequipa cito en el Parque Industrial C-1; mediante el método de ensayo acreditado Plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y, la relación de adsorción de sodio (RAS), conductividad eléctrica (CE), carbonato sódico residual (SCR), cationes y aniones se realizaron en el laboratorio de aguas y suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Puno.

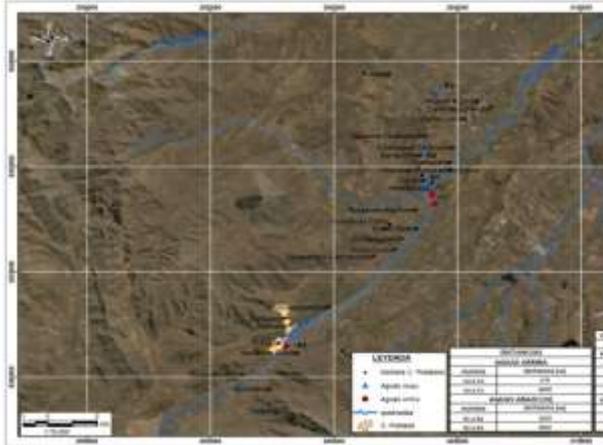
## Determinación de la aptitud agropecuaria

La aptitud del agua para el riego de vegetales y bebida para animales, se determinó en función de los estándares de calidad ambiental (ECA) categoría 3, D1 y D2 D.S. 004-2017 MINAM norma peruana, y parámetros establecidos por la Clasificación Nomograma de Riverside (USDA)

## Tratamiento estadístico

Se aplicó el método estadístico descriptivo, presentando los resultados producto de los análisis de laboratorio de las muestras tomadas aguas arriba (tramo río) y, aguas abajo acueducto primario de distribución (área irrigación Canal N), los mismos que fueron interpretados y discutidos de acuerdo a los ECA categoría 3 D1 riego de vegetales y D2 bebida para animales, realizando el cálculo de la media ( $\bar{x}$ ) por curso (aguas arriba y aguas abajo) y la media general para su interpretación, identificando la influencia de algunos factores intervinientes de carácter natural y antrópico

con el soporte teórico y antecedentes relacionados con la investigación.



Fuente: Sincronización de ArcMap con Google Earth

**Figura 1:** Ubicación geográfica Irrigación Canal N y puntos de muestreo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Concentración de metales pesados

Las concentraciones de metales pesados en mg/l en las muestras de agua producto de los análisis de laboratorio comparados con los parámetros establecidos por el D.S. 004-2017 MINAM. Categoría 3, D1 agua para riego de vegetales, y D2 para bebida de animales observados en la (**tabla 1**) en ambos casos se encuentran por debajo de los ECA, indicando que el caudal del río Llallimayo en el periodo de muestreo se encontraba en sus niveles más bajos, por la escasez de precipitaciones en la región Puno, es lógico indicar que exista una relación inversa entre el caudal y la concentración de sustancias ajenas a la composición cuantitativa y cualitativa del agua ya que a mayor caudal menor impacto de la contaminación (Geen, 1998), por lo tanto; el agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo es considerada como

apta para el riego de vegetales y bebida de animales.

Pérez *et al.* y Hernández, (2016) encontraron una concentración baja de metales pesados debido al uso del agua para riego, hecho que podría provocar con el tiempo la acumulación de metales pesados en el suelo por consiguiente no es muy recomendable debido al riesgo de salinidad. En el suelo el contenido de metales y arsénico se da por geoacumulación, contaminando el ambiente, especialmente de cadmio y zinc por las actividades agropecuarias e industriales, (Castro-González *et al.* 2019). Sin embargo, no todos los elementos traza son nocivos, por el contrario algunos son esenciales para la nutrición de las plantas como (hierro, Cobre, manganeso y zinc), solo en cantidades excesivas pueden afectar el crecimiento de las plantas incluso causar su muerte (García, 2012b; García, 2012a)

Los resultados muestran que, sólo el arsénico presenta variaciones en su concentración, siendo mayor en el curso bajo con 0,003067 mg/l que el curso alto con de 0,0019 mg/l, la diferencia se debería a las actividades agropecuarias realizadas por los productores de la irrigación, sumando los residuos domésticos (Dimas *et al.* 2015); al respecto Pamela, Ledezma, Pedro, y Revilla, (2014) expresan que, el contenido de metales en el ambiente se da en forma natural y antropogénica, movilizándose entre el agua, suelo y aire. Sin embargo; se puede advertir que, el Cadmio, Mercurio, Plomo, Níquel, Antimonio y Bismuto pueden provocar ciertas disfunciones a nivel orgánico en los seres vivos por ser altamente

tóxicos y, a su capacidad de acumularse progresivamente (Chaves, 2011), en el transcurso del tiempo por mínimo que sea el contenido de estos metales en el agua y suelo pueden ser perjudiciales, es así que; los metales pesados presentes en el ambiente y alimentos provocarían intoxicaciones y patologías en la salud humana y animal como, malformaciones congénitas cáncer e incluso la muerte por la acumulación progresiva en los organismos alterando los procesos bioquímicos y fisiológicos (Londoño Franco *et al.* 2016). La presencia del Molibdeno en el agua de riego comúnmente es baja, pero podría llegar a ser tóxica en animales alimentados con forrajes regados frecuentemente con aguas que lo contienen (García, 2012a).

**Tabla 1:** Concentración de metales pesados en aguas de la irrigación Canal N y aptitud para riego y bebida de animales según estándares de calidad ambiental (ECA) categoría 3 D.S. 004-2017 MINAM.

Metales pesados	Valores encontrados en mg/l	D1 Riego de vegetales valor paramétrico mg/l	Aptitud para riego		Aptitud para bebida de animales
			No restringido	Restringido	No restringido
As	0,00249	0,1	✓	✓	✓
Hg	0,00041	0,001	✓	✓	✓
Cd	0,00011	0,01	✓	✓	✓
Cu	0,002	0,2	✓	✓	✓
Cr T	0,00039	0,1	✓	✓	✓
Pb	0,0026	0,05	✓	✓	✓
Mn	0,0003	0,2	✓	✓	✓
Al	0,029	5,0	✓	✓	✓

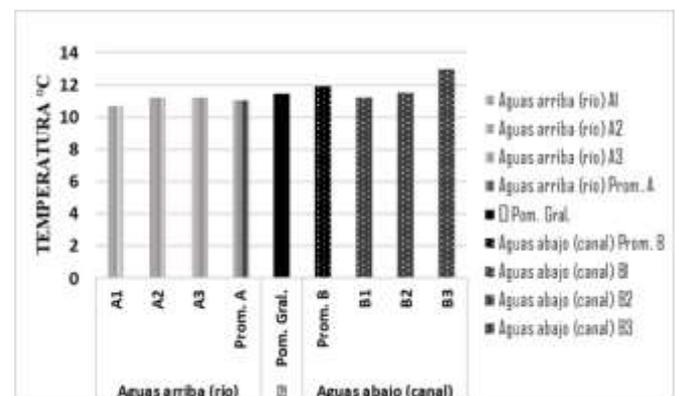
### Características fisicoquímicas y aptitud del agua

#### Temperatura.

Las temperaturas presentadas en la (fig. 2) registradas in situ mediante el multiparámetro portátil Hanna, entre las 9,20 a.m. a 12,41 p.m.

oscilan entre 10,7 a 13 °C, un promedio de 11,47 °C; normales para el mes de octubre, en la región Puno, el rango de 2,3 °C se debe a las horas de medición.

Las temperaturas registradas se consideran normales para el riego sin provocar efectos térmicos, ni fisiológicos en los cultivos de la zona, al respecto Rebour y Deloye (1971) indican considerar la temperatura del suelo, para determinar la hora del día para el riego. La temperatura es uno de los factores que influyen en las reacciones químicas, fenómenos físicos y biológicos, en forma natural o antrópica, es así que: las temperaturas elevadas y humedad baja favorecen la absorción y toxicidad, incluso en concentraciones bajas, en cultivos susceptibles al sodio o cloro (García, 2012b).



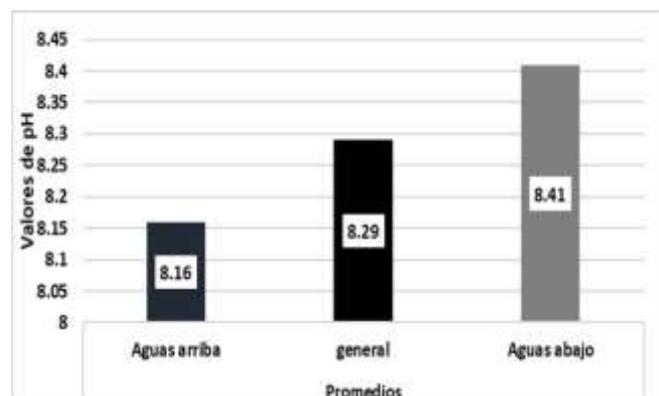
**Figura 2:** Temperaturas registradas aguas arriba y, aguas abajo irrigación Canal N río Llallimayo.

#### pH.

El pH expresa la concentración de los iones hidrógeno en el agua, indicando la alcalinidad o acidez del agua. El pH del agua para riego no siempre es un criterio para determinar su calidad, debido a la diferencia del efecto tampón entre el suelo y el agua (Colasurdo et al. 2011). En la (fig. 3) se observan los valores

promedio de los dos cursos, las aguas abajo con un pH 8,41 supera al promedio del curso aguas arriba con un pH 8,16, obteniendo un promedio general pH 8,29; de acuerdo a los ECA categoría 3 riego de vegetales D1 y bebida para animales D3, cumpliendo con los parámetros establecidos de 6,5 a 8,5 (Marín, 2008; MINAM, 2017); por lo expuesto el agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo es apta para el riego de cultivos y bebida para animales. El pH del agua y del suelo es un factor influyente en la disponibilidad o carencia de elementos esenciales o nocivos en su seno, es así que: La acumulación de metales pesados está influenciada por el pH, ya que la mayoría de los metales está disponible cuando el pH del agua es ácido, y precipitan cuando es alcalino (Pérez Díaz *et al.* 2016). En su investigación Cuizano, Reyes, Domínguez, y Llanos, (2010) observo un fuerte efecto del pH en la química acuosa del ion metálico dominada por aquo e hidroxocomplejos, condicionada por la propia acidez del catión. La cantidad de arsénico biodisponible está condicionada por la movilidad del medio geoquímico y sedimentario donde predominan condiciones oxidantes, generalmente el arsénico está disuelto en forma de especies con As(V), y el pH neutro con tendencia a la alcalinidad (Galindo *et al.* 2005). Las aguas alcalinas por el contenido de carbonatos y bicarbonatos en solución, pueden afectar gradualmente los suelos, provocando la elevación del pH con el tiempo (Barbero *et al.* 2005); estos suelos con exceso de sales solubles producto del riego con aguas salinas

o por el ascenso de sales del subsuelo al suelo (Canihua, J. y Salcedo, S. 2016)



**Figura 3:** Valores promedio de pH aguas arriba y aguas abajo irrigación Canal N río Llallimayo.

### **Conductividad eléctrica (CE), Relación de adsorción de Sodio (RAS) y Carbonato Sódico Residual (CSR)**

La (tabla 2) muestra los resultados promedio de los cursos de agua, comparados con los parámetros establecidos para determinar la aptitud del agua para el riego de vegetales en base a la conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y carbonato sódico residual; de acuerdo a la CE 0,423 mhos/cm el agua califica como aceptable para riego, por la RAS con 11,42 riesgosa y por el CSR con 2,42 califica como no recomendable.

Referente al peligro de sales la CE, según el Laboratorio de Salinidad de Riverside, se ubica en la clase C1 calificando como buena para riego de diferentes cultivos, indicando peligro de salinización solo en suelos con baja permeabilidad y difícil drenaje interno; aclarando que el caudal del río estaba en un nivel bajo, por la ausencia de precipitaciones, al respecto Colasurdo, Díaz, Grosman, y Manzano, (2011) expresan qué; a menor caudal

del agua se incrementa la salinidad, el potencial osmótico de las plantas decrece y, consecuentemente la disponibilidad de agua para las plantas. En cuanto al peligro de sodio, según la RAS corregido Ayers y Westcot, (1976); Acosta y Salvadori, (2017) mencionan que: el valor encontrado de 11,42 la ubica en la clase S3 calificándola como muy sódica, indicando peligro en suelos bajo drenaje, y materia orgánica. Analizando el resultado de la RAS 11.42, los riegos con estas aguas pueden ir afectando la permeabilidad y estructura de los suelos, generando problemas en el drenaje restando su capacidad productiva. Al respecto Ayers y Westcot, (1976); Can-chulim *et al.* (2010), (Cuellar Carrasco *et al.* 2017) indican que, la reducción de la capacidad de infiltración de los suelos ocurre en los primeros centímetros de la superficie, y se debe a la precipitación frecuente de las sales menos solubles, causando el predominio de los iones de las sales más solubles, como el sodio en la superficie del suelo, provocando que las partículas de arcilla adsorban el sodio liberando los iones de magnesio y calcio. También, el CSR en aguas con altas concentraciones de bicarbonatos, el calcio y el magnesio tienden a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada (Can-chulim *et al.* 2010; Balmaseda y García, 2013). Comparados los resultados obtenidos en la misma estación del año, río e irrigación del 2018 fueron CE. 0.331 mS / cm, RAS 8.17, CSR 2.17, calificación C1S2 (Cano y Atajo, 2019), con los obtenidos el 2019 (presente investigación) CE. 0,423 mhos/cm, RAS 11,42 y CSR 2,42 calificada como C1S3 indican un

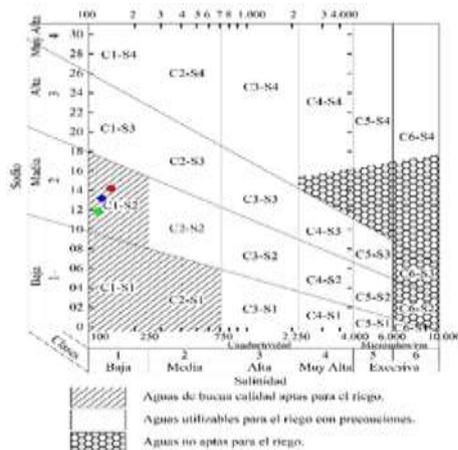
incremento en todos los parámetros evaluados, especialmente en la RAS y CSR calificándola como riesgosa y no recomendable respectivamente. Constituyendo una amenaza alterando la permeabilidad y capacidad de infiltración a futuro de los suelos irrigados (Azpilcueta Pérez *et al.* 2017)

**Tabla 2.** Aptitud del agua para riego según parámetros CE. RAS y CSR.

Calidad del agua para riego	CE mhos/cm	RAS	CSR	Aptitud del agua para riego CSR
Aceptable	< 1,3 0,423	< 5,0	< 1,25	Agua recomendable
Dudosa	1,3 - 2,0	5,0 - 10	1,25 - 2,00	Agua poco recomendable
Riesgosa	> 2,0	> 10 11,42	> 2,00 2,42	Agua no recomendable

La (**fig. 4**) Nomograma Riverside (USDA) relaciona la salinidad con la sodicidad, obteniendo los valores más altos en las aguas arriba CE (0,456 mhos/cm) y la RAS (12,36) y para las aguas abajo CE (0,390) y la RAS (10,48) obteniendo como promedio de ambos cursos CE (0.423 mhos/cm) y para la RAS (11,42), finalmente el resultado de la intersección según Nomograma de Riverside (USDA) la califica como: agua de buena calidad apta para el riego. Al respecto, Ayers y Westcot, (1976) indican que: a medida que aumenta la concentración salina en el agua (CE) de riego, disminuye el riesgo de sodificación manteniéndose la estabilidad coloidal, sin afectar la capacidad de infiltración. Los parámetros tienen una relación directa con los factores ambientales, como las precipitaciones y la temperatura afectando de manera directa la calidad del agua como lo ocurrido en la temporada de lluvias (Rubio Arias *et al.* 2014). A su vez, las aguas superficiales están expuestas

a la contaminación por la descarga de aguas residuales y basura (Jiménez, Durán y Mendez, 2010). Ambas expresiones nos indica la influencia de los factores naturales como antrópicos alterando la calidad del agua.



**Figura 4:** Aptitud del agua irrigación Canal N según Nomograma de Riverside (USDA)

## CONCLUSIONES

Ninguno de los metales pesados supera los estándares de calidad ambiental (ECA) categorías 3 D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida para animales), establecidos por la norma peruana D.S. 004-2017-MINAM, por consiguiente, es apta para el riego de vegetales y bebida para animales; referente a la temperatura 11,47 °C y pH 8,29, como buena para el riego y consumo para animales; en cuanto a la conductividad eléctrica (CE) 0,423 mhos/cm, la relación de adsorción de sodio (RAS) 11,42 y, carbonato sódico residual (CSR) 2,42 califica como C1 aceptable, S3 riesgosa y no recomendable, superando a los valores encontrados el año 2018 en la misma

zona (Cano y Atajo, 2019); finalmente según Nomograma de Riverside (USDA) califica como agua apta para riego.

## AGRADECIMIENTOS:

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

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

## CONFLICTO DE INTERÉS

El autor de iniciales (JWCO), no tiene conflictos de intereses de ninguna índole.

## REFERENCIAS

- Acosta, J., y Salvadori, J. (2017). *Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados. Facultad de Agronomía - Universidad Nacional de la Pampa Santa Rosa – la Pampa – Argentina*. 56.
- Aragon Graneros, L. y, y Santibañez Machuca, A. (2003). *Estudios integrales de los recurso hídricos de la cuenca del rio Ramis Componente: Recursos Hídricos Superficiales Sub Componente : Inventario De Fuentes De agua superficial*. 84. [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fuentes\\_agua\\_superficial\\_ramis\\_0\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fuentes_agua_superficial_ramis_0_0.pdf)
- 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.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1976). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1. In *FAO Irrigation and Drainage Paper: Vol. No.29*. <https://doi.org/ISBN 92-5-102263-1>
- Azpilcueta Pérez, M. E., Pedroza Sandoval, A., y Sánchez Cohen, I. (2017). Calidad química del agua en un Área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la comarca lagunera, MÉxico. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(1), 75–83. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.07>
- Balmaseda, C., & García, Y. (2013). Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego. *Cultivos Tropicales*, 34, 68–73. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193228546011.pdf>
- Barbero, L., Karlanian, M., y Mata, D. (2005). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura CIRN*, 1–5. [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)
- Borbolla-Sala, M. E., de la Cruz-Vázquez, L., Piña-Gutiérrez, O. E., de la Fuente-Gutiérrez, J. del C., & Garrido-Pérez, S. M. G. (2003). Calidad del agua en Tabasco. *Salud En Tabasco*, 9(1), 170–177.
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Can-chulim, Á., Ortega-escobar, H. M., García-calderón, N. E., Reyes-ortigoza, A. L., Arturo, V., y David, G. (2010). *Origen y calidad del agua subterránea en la Cuenca Oriental de México*. 189–200.
- Canihua, Jorge. Salcedo, S. (2016). *Nutrición y fertilidad de suelos. Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA. Estación Experimental Agraria Illpa - Puno. Salcedo S/N Puno - Perú*.
- Cano, J. O., y Atajo, J. C. (2019). *Calidad del agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo y Aptitud*

- Agrícola Distrito Cupi - Melgar 2018. 051*, 1069–1081.
- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Rojas, R., Tamariz-Flores, J. V., y Reyes-Cervantes, E. (2019). Nivel De Contaminación De Metales Y Arsénico En Aguas Residuales Y Suelos En La Subcuenca Del Alto Balsas En Tlaxcala Y Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 335–348. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.06>
- César del Pozo Loayza y Valerio Paucarmayta Tacuri. (2014). *Cómo impacta la minería en la producción agropecuaria del Perú*. 6–12.
- Chaves-Vallarino, C. (2011). Detección de metales pesados en agua. *Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica - Tonantzintla, Puebla*, 62.
- Chávez-Jiménez, A., y González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. *RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agua*, 2(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>
- Colasurdo, V., Díaz, O., Grosman, F., y Manzano, P. (2011). Análisis de la calidad del agua de la laguna De los Padres: potencial uso para riego. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 110(1), 20–25.
- Contreras, J. C. L. M. x A. G. (2004). *Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina*. 29, 38–71.
- Cuellar Carrasco, E., Ortega Escobar, M., Ramírez Ayala, C., y Sánchez Bernal, E. I. (2017). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 977. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.592>
- Cuizano, N. A., Reyes, Ú. F., Domínguez, S., y Llanos, B. P. (2010). RELEVANCIA DEL pH EN LA ADSORCIÓN DE IONES METÁLICOS MEDIANTE ALGAS PARDAS. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 76(2), 123–130.
- Dimas, M. J. ., Garza, M. N. ., y Treviño, D. B. . (2015). Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero , México Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 113–118.
- Fasano, H. (2011). El agua recurso vital. - Revista Museo. vol. 3 N° 22. *ReCALL*, 2(4).
- Galindo, G., Fernández Turiel, J. L., Parada, M. Á., y Torrente, D. G. (2005). *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea IV congreso hidrológico argentino Río Cuarto, 25 al 28 de Octubre de 2005*.
- García, Á. (2012a). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Primera Parte). *International Union of Soil Sciences*, 6 Junio, 27–36. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6 Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6 Art.pdf)
- García, Á. (2012b). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Segunda parte). *International Union of Soil Sciences*, 7 Setiembre, 26–34. <http://www.ipni.net/publication/ia->

[lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6\\_Art.pdf](http://lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6_Art.pdf)

- Geen, V. (1998). *Metales Pesados Y Componentes Mayoritarios En Aguas*.
- Jiménez-Cisneros, B., Durán-Alvarez, J. C., Mendez-Contreras, J. M. (2010). El agua en México: Causas y Encauces. In *10. Calidad* (pp. 265–290).
- Londoño Carvajal, A., Giraldo Gómez, G. I., y Gutierrez Gallego, Á. Ilexánder. (2010). Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. *Environment International*, *1*(1), 1–149. <https://doi.org/10.1080/01463370500101352>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., y Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *14*(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., y Reyes-Ortigoza, A. L. (2011). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. In *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (Vol. 28, Issue 1). <https://doi.org/0188-499>
- Marín, R. (2008). Características Físicas, Químicas Y Biológicas De Las Aguas. *Emacs*, *1*(c), 37.
- MINAM. (2017). Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Moreno, D. H., Rodríguez, F. S., Kammerer, M., y López, M. P. (2005). *Calidad físico-química del agua de bebida destinada a los rumiantes*. *114*, 19–29.
- Palacios, A. (2016, April 2). Grave contaminación en nuestros ríos. *Contaminación de Recursos Hídricos*, *1*. <http://www.planteamientosperu.com>
- Pamela, K., Ledezma, R., Pedro, C., y Revilla, E. (2014). Heavy Metal Contamination. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil*, 51–51. <https://doi.org/10.1201/b16566-4>
- Pérez Díaz, J. P., Peña Cervantes, E., López Cervantes, R., y Hernández Torres, I. M. (2016). Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada. *Idesia (Arica)*, *34*(1), 19–25. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292016000100003>
- Rebour H. y Deloye, M. (1971). *El Riego* (2°). Ediciones Mundi - Prensa.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., y Rey Burciaga, N. I. (2014). Índice De Calidad De Agua (Ica) En La Presa La Boquilla En Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *1*, 12. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200790282014000200005%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200790282014000100008&lng=es&rm=iso&tlng=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S20](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200790282014000200005%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200790282014000100008&lng=es&rm=iso&tlng=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20)