

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,
Volumen 10, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO
QUÍMICOS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LOS
ALREDEDORES DE LOS CENTROS MINEROS EN
EL DISTRITO DE YAULI, REGIÓN DE JUNÍN -
PERÚ”**

**“ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN
WATER BODIES SURROUNDING MINING CENTERS IN THE
DISTRICT OF YAULI, JUNÍN REGION, PERU”**

Oscar Fernando Pérez Pinedo
Universidad Nacional del Santa

Jessica Yovana Alava Cielo
Universidad Nacional del Santa

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1.23034

“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LOS ALREDEDORES DE LOS CENTROS MINEROS EN EL DISTRITO DE YAULI, REGIÓN DE JUNÍN - PERÚ”

Oscar Fernando Pérez Pinedo¹operez@uns.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-5780-6115>Universidad Nacional del Santa
Perú**Jessica Yovana Alava Cielo**jalava@uns.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-9434-7560>Universidad Nacional del Santa
Perú

RESUMEN

El presente estudio de investigación muestra los valores de los parámetros físico químicos e inorgánicos en las aguas superficiales en los alrededores de los centros mineros en el distrito de Yauli, en la Región de Junín; las muestras de agua superficiales fueron tomadas en los años 2021 y 2022 en tres Estaciones de muestreo. Los resultados muestran valores de parámetros físicos como el pH, mayor a lo establecido en los Estándares de Calidad del Agua, categoría Riego de Vegetales y Bebida de Animales emitido por el gobierno peruano el 07 de junio de 2017 (Minam, ECA 2017). En cuanto a los parámetros químicos; los sulfatos, también se encuentran en mayor cantidad según normas establecidas por el Ministerio del Ambiente. Con respecto a los parámetros inorgánicos los valores de Zinc, Plomo, Manganeso, Magnesio y Hierro son mayores a los máximos permitidos, asimismo otros parámetros inorgánicos como son Fosforo, Potasio, Calcio, Sodio, Estroncio, Silicio, Talio, no registrados en los estándares de estudio, los resultados de laboratorio indican cantidades considerables. Correlacionando los resultados de los parámetros cuyos valores son mayores a los máximos permitidos, el Manganeso, Magnesio y Hierro están muy relacionados, no muy lejos se encuentra el zinc, mientras que el plomo juntamente con los sulfatos y pH, se muestran alejado de estos parámetros inorgánicos. Existiendo una relación fuerte entre el calcio, estroncio y sodio.

Palabras clave: Parámetros físicos, químicos, e inorgánicos del agua; cuerpo de agua: estándares de calidad ambiental; relaves.

¹ Autor principal

Correspondencia: operez@uns.edu.pe

“Assessment of Physicochemical Parameters in Water Bodies Surrounding Mining Centers in the District of Yauli, Junín Region, Peru”

ABSTRACT

The present research study reports the values of physicochemical and inorganic parameters in surface waters surrounding mining centers in the district of Yauli, Junín Region. Surface water samples were collected in 2021 and 2022 at three sampling stations. The results show that physical parameters such as pH exceed the limits established in the Water Quality Standards for the category “Irrigation of Vegetables and Livestock Drinking Water,” issued by the Peruvian government on June 7, 2017 (Minam, ECA 2017). Regarding chemical parameters, sulfate concentrations also surpass the limits established by the Ministry of the Environment. With respect to inorganic parameters, the concentrations of zinc, lead, manganese, magnesium, and iron are higher than the maximum permitted values. In addition, other inorganic elements not included in the official standards—such as phosphorus, potassium, calcium, sodium, strontium, silicon, and thallium—were detected in considerable quantities according to laboratory analyses. Correlation analysis of the parameters exceeding maximum limits indicates a strong relationship among manganese, magnesium, and iron, with zinc also showing a close association. In contrast, lead, together with sulfate and pH, appears more distantly related to these inorganic parameters. A strong correlation is observed among calcium, strontium, and sodium.

Keywords: Physical, chemical and inorganic water parameters; water body; environmental quality standards; tailings.

*Artículo recibido 10 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

La alteración de los parámetros físico químicos del agua —incluidos el pH, la conductividad eléctrica y las concentraciones de especies metálicas— constituye un indicador crítico de estrés ambiental en ecosistemas acuáticos. Variaciones en estos parámetros pueden interrumpir procesos biogeoquímicos fundamentales, alterar la estructura de la comunidad hidrobiológica y comprometer la estabilidad de las redes tróficas, afectando en consecuencia los servicios ecosistémicos y la disponibilidad del recurso para usos antrópicos estratégicos. En sistemas bajo influencia extractiva, particularmente en zonas adyacentes a depósitos de relaves, se han documentado condiciones de pH alcalino y valores elevados de conductividad eléctrica asociados a altas cargas de sulfatos, lo cual refleja procesos intensivos de interacción mineral–efluente y la movilización de especies químicas desde matrices geológicas alteradas (Gazire et al., 2023).

La literatura evidencia que estos procesos no son puntuales, sino persistentes y con capacidad de inducir degradación en el medio acuático. Evaluaciones fisicoquímicas realizadas en cuerpos de agua altoandinos expuestos a extracción minera han reportado parámetros que exceden los límites definidos por la normativa peruana y por estándares internacionales, indicando contaminación simultánea en la columna de agua y en los sedimentos, los cuales actúan como reservorios y fuentes secundarias de liberación de contaminantes hacia niveles tróficos superiores (Brousett et al., 2021).

La investigación se centra en los cuerpos de agua superficiales, como la ribera del río Yauli, puquios, ojonales ubicados entre los 4100 y 4300 metros sobre el nivel del mar, a los cuales se filtra sustancias, provenientes de los relaves mineros enterrados cercanos a estas aguas; estas filtraciones son productos de reacciones químicas, de minerales polimetálicos que no han terminado el procesamiento de concentración, aparte a ello, también existen minerales propios del suelo de los alrededores de estos centros mineros. Todo este conjunto de elementos mencionados es arrastrado y llevado por el viento, como también por medio de discurrirías hacia los cuerpos de agua superficiales de los alrededores de los centros mineros del distrito de Yauli; en estos alrededores mencionados también se ubica la ciudad de Yauli, centro poblado cuya actividad económica principal es la minería generalmente subterránea, por esta ciudad discurre las aguas del río Yauli.



Los productos residuales luego del procesamiento minero, no se dirigen exactamente hacia los lugares seguros y normados para ello; por lo que las aguas de la Subcuenca del Yauli, de igual manera aguas abajo se contaminan y no es aprovechado en el consumo, esta conclusión viene de las diversas mediciones y evaluaciones periódicas de lo que sucede con el recurso hídrico en el distrito de Yauli, tal como lo determinó la Comisión Técnica Regional de Junín, en el año 2011.

Una cierta cantidad de estas aguas afloradas se dirigen hacia el Rio Yauli, el cual cruza todo el distrito, este rio nace de las alturas de la Mina San Cristóbal, y pasa por diversas comunidades entre ellas: San Cristóbal, Carahuacra, Victoria, Yauli, Mahr Tunel, termina uniéndose al río Mantaro antes de la ciudad de La Oroya. Asimismo, desde una perspectiva conceptual, la categoría “aguas de contacto” describe flujos superficiales y subterráneos que, tras interactuar con materiales mineros reactivos, adquieren propiedades químicas que incrementan la movilidad y disponibilidad de contaminantes, generando degradación edáfica y pérdida de funcionalidad ecosistémica (Peña & Araya, 2021).

Ante esta situación, es que se formula el siguiente planteamiento

¿Cuáles son los parámetros físicos y químicos de los cuerpos de agua de los alrededores de los centros mineros, y su relación con los estándares de calidad de agua - ECA en el distrito de Yauli, Región de Junín-Perú?

Es por ello que se considera los siguientes objetivos:

- Determinar los niveles de los parámetros físicos químicos e inorgánicos de los cuerpos de agua superficiales según en las Estaciones de estudio.
- Comparar los valores determinados en los cuerpos de agua superficiales según Estaciones de estudio con los límites permisibles de acuerdo con los ECA 2017.
- Identificar posibles relaciones de los niveles de los parámetros físicos químicos e inorgánicos con los estándares de calidad de agua establecidos de acuerdo con los ECA 2017.

La presente investigación permite tener conocimiento de la real dimensión del problema que, en los cuerpos de agua superficiales, existen valores de los parámetros físicos, químicos e inorgánicos en mayor cantidad a lo permitido en los estándares nacionales; contribuyendo a tener información para realizar gestiones sostenibles de mejora del medio ambiente y la aplicación de las normativas correspondientes.

- El estudio se justifica porque demuestra el grado de impacto que produce el afloramiento de las lagunas de relaves, los cuales contienen una serie de contaminantes, que se depositan en el río Yauli y en los en los cuerpos de agua como puquios y ojonales de los alrededores del distrito de Yauli.
- Es importante por cuanto se puede inferir, que las consecuencias de dichos impactos no ocurran en otros lugares donde se realizan similares actividades como el caso de estudio.

Con el presente estudio se propone sentar bases para continuar con las evaluaciones de los parámetros establecidos según la norma vigente, y en la medida de lo posible considerar normas proyectadas, en base a la investigación, el cual permitirá un mejor tratamiento de los cuerpos de agua superficiales contaminados.

METODOLOGIA

Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo, el **enfoque es** Cuantitativo, siendo los **Instrumentos de recolección de información los** Muestreos de cuerpos de agua. **Técnicas de análisis de información se llevaron a cabo mediante el** Análisis en Laboratorio y también Softwares Estadísticos

Se establecieron tres Estaciones de muestreo, ye en cada estación se estableció tres lugares cercanos denominados “Puntos”; y de estos puntos es donde se extrajeron las muestras estas, se enumeraron de acuerdo con el número correspondiente de la estación

Estación de Muestreo 1

Esta estación es la denominada Estación 1 en el estudio realizado, está ubicada al sur de la ciudad de Yauli, en las riberas del Rio Yauli, en esta área existe alguna vegetación natural como festucas, poas, juncos tal como se muestra en la Figura A3 de Anexos. También es una zona pedregosa. Es la más cercana a una laguna de relaves enterrada, se aprecian algunas correrías de agua desde este relave; en época de lluvias, abundan estas correrías.

Estación de Muestreo 2

La Estación 2, está ubicada hacia la parte central de la ciudad de Yauli, en las inmediaciones de la carretera principal de la ciudad, comprende un área más pedregosa, con escasa vegetación, en esta área se recibe una descarga de agua de los puquiales de las alturas de la ciudad, este flujo de agua se dirige al río Yauli, esto se puede apreciar en la Figura A4 de Anexos.



Estación de Muestreo 3

La Estación 3, es un afloramiento de agua, en forma de laguna, en este lugar se aprecia aves de diversas especies, está ubicado a la salida de la ciudad de Yauli, camino hacia un centro de procesamiento de minerales conocido como Mahr Tunel. Existe vegetación inclusive algunos árboles, se encuentran diversas aves como los patos silvestres, gaviotas entre otras aves, como una especie de vivero natural.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico realizado permitió encontrar lo siguiente

Tabla 1

Medidas estadísticas descriptivas de los parámetros físicos de los cuerpos de agua por Estaciones

Parámetro Medido	Mínimo	Máximo	Media	Desviación	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Desv. Error Estadístico	Estadístico
Temperatura del Agua Estación 1	8.0900	14.5000	11.7656	0.4651	5.8393
Temperatura del Agua Estación 2	10.2000	15.7000	13.6733	0.3795	3.8894
Temperatura del Agua Estación 3	11.8000	18.9000	15.3663	0.4513	5.4980
pH del agua Estación 1	7.9000	8.4800	8.2459	0.0306	0.0253
pH del agua Estación 2	7.5000	8.5000	8.1474	0.0482	0.0626
pH del agua Estación 3	7.5000	9.9800	8.6767	0.1506	0.6122
Conductividad Eléctrica del Agua Estación 1	1020.0000	2030.0000	1532.9630	77.1257	160606.2678
Conductividad Eléctrica del Agua Estación 2	540.0000	2020.0000	1355.9259	91.1438	224294.3020
Conductividad Eléctrica del Agua Estación 3	430.0000	1940.0000	816.2963	85.7997	198762.6781
Sólidos Totales Estación 1	0.5100	1.0100	0.7704	0.0388	0.0406
Sólidos Totales Estación 2	0.4400	0.9600	0.7211	0.0384	0.0398
Sólidos Totales Estación 3	0.2200	0.9800	0.5352	0.0553	0.0825

Tabla 2

Valores de la distribución de Normalidad en los parámetros físicos de los cuerpos de agua según estación

Parámetro medido	Estacion	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Temperatura (°C)	Estación 1	0.763	27	0.000
	Estación 2	0.809	27	0.000
	Estación 3	0.905	27	0.018
Potencial de Hidrógeno (pH)	Estación 1	0.895	27	0.010
	Estación 2	0.801	27	0.000
	Estación 3	0.921	27	0.042
Conductividad Eléctrica Agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Estación 1	0.799	27	0.000
	Estación 2	0.891	27	0.008
	Estación 3	0.739	27	0.000
Sólidos Totales (Ppt)	Estación 1	0.782	27	0.000
	Estación 2	0.828	27	0.000
	Estación 3	0.833	27	0.001

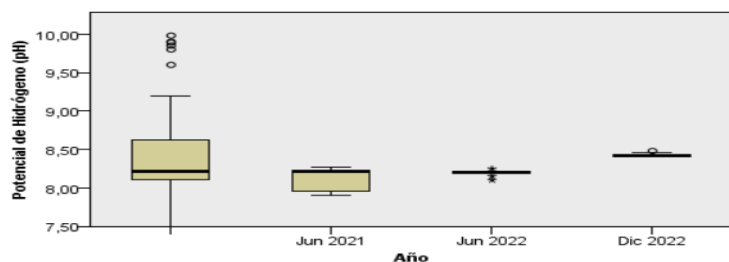
Para los parámetros mostrados en las tablas 1 y 2; los valores, mayores a los establecidos en el ECA-2017 viene a ser el pH. Al realizar la ecuación de Shapiro Wilk para el pH en las tres estaciones,



encontramos que no tienen una distribución normal, por lo que debemos usar ecuaciones no paramétricas, a fin de correlacionarlos; se determinó el valor del coeficiente denominado alfa de Cronbach (encontrar consistencia en los valores de los datos agrupados del pH), el cual fue de 0.93, por lo que proseguimos con las correlaciones. Al aplicar la prueba de Krustall-Wallis, pValor (0.229) es mayor al grado de significancia (0.05) determinándose la hipótesis de que los valores del pH están asociados o agrupados en todas las Estaciones y también a lo largo del tiempo (Gráfico 1, pValor es de 0.065).

Gráfico 1

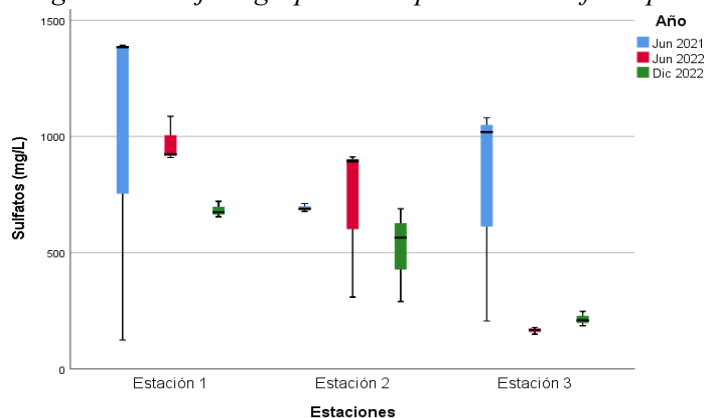
Resumen de prueba de hipótesis distribución del pH entre años de estudios



N total	81
Estadístico de contraste	7,235
Grados de libertad	3
Sig. asintótica (prueba bilateral)	,065

Gráfico 2

Diagrama de cajas agrupados del parámetro Sulfatos por Estaciones por años



En cuanto al parámetro químico Sulfato, cuyos resultados lo podemos observar en el gráfico 2. Encontramos valores por encima de los 1000 mg/L, en la estación 1, el cual es la más cercana a la zona de relaves mineros, Al presentar valores altos de sulfatos, esto refiere a sulfato cálcico (CaSO_4). En contraste al sulfato sódico (Na_2SO_4), que posee un umbral de percepción menor (~250 mg/L) debido a

su mayor solubilidad y contribución más marcada al sabor salobre. Aunque en 2022 se observa una leve reducción en los niveles, las concentraciones continúan siendo altas desde la perspectiva de calidad de agua. Geoquímicamente, estas cargas elevadas de sulfatos son coherentes con la oxidación de sulfuros de hierro, principalmente pirita (FeS_2) y pirrotita (Fe_{1-x}S), que en presencia de oxígeno y agua generan acidez y liberan SO_4^{2-} , proceso ampliamente descrito por Montano et al. (2022).

Tabla 3

Resumen medidas estadísticas descriptivas de los parámetros inorgánicos de los cuerpos de agua por Estaciones

Parámetro Inorgánico	Datos	Mínimo	Máximo	Media Estadístico Error	Desv. Desv.	Desviación Estándar
Aluminio	27	0.0020	1.4500	0.3381	0.0962	0.4998
Antimonio	27	0.0000	0.0127	0.0042	0.0009	0.0048
Arsénico	27	0.0040	0.0236	0.0103	0.0010	0.0054
Azufre	21	0.0000	911.0000	116.7866	46.3657	212.4742
Berilio	27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Bismuto	27	0.0000	0.0008	0.0002	0.0001	0.0003
Bario	27	0.0257	0.1028	0.0667	0.0033	0.0171
Boro	27	0.0630	0.3410	0.1612	0.0141	0.0732
Cadmio	27	0.0000	0.0509	0.0030	0.0018	0.0096
Calcio	27	34.0000	497.0000	222.8148	28.2304	146.6896
Cerio	27	0.0000	0.0018	0.0004	0.0001	0.0007
Cobalto	27	0.0000	0.0244	0.0032	0.0009	0.0046
Cobre	27	0.0025	0.1039	0.0397	0.0068	0.0353
Cromo	27	0.0010	0.0020	0.0013	0.0001	0.0005
Estaño	27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Estroncio	27	0.2305	26.1070	11.4934	1.9615	10.1924
Hierro	27	0.0800	107.0000	5.2831	3.9253	20.3966
Plomo	27	0.0028	0.1323	0.0371	0.0075	0.0388
Fosforo	27	0.0200	0.2350	0.0725	0.0092	0.0479
Litio	27	0.0262	0.3160	0.1123	0.0147	0.0766
Manganeso	27	0.0000	487.4000	40.4690	17.6274	91.5945
Magnesio	27	25.9000	732.0000	64.9000	25.7174	133.6318
Mercurio	27	0.0001	0.0006	0.0001	0.0000	0.0001
Molibdeno	27	0.0000	0.0173	0.0071	0.0012	0.0065
Níquel	27	0.0009	0.0702	0.0156	0.0029	0.0151
Potasio	27	3.0000	32.0000	10.3889	1.2591	6.5424
Plata	27	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
Selenio	27	0.0000	0.0093	0.0019	0.0006	0.0029
Silicio	9	3.0700	5.2300	4.0044	0.2612	0.7836
Sodio	27	6.2000	28.0000	14.3222	1.1573	6.0134
Talio	27	0.0000	0.1566	0.0065	0.0058	0.0300
Titanio	27	0.0000	0.0161	0.0037	0.0010	0.0053
Torio	27	0.0000	0.0021	0.0001	0.0001	0.0004
Uranio	27	0.0000	0.0008	0.0003	0.0000	0.0003
Vanadio	27	0.0060	0.0060	0.0060	0.0000	0.0000
Wolframio	27	0.0000	0.0056	0.0020	0.0004	0.0020
Zinc	27	0.0380	147.0000	19.5172	6.4168	33.3425

Tabla 4

Valores de la distribución de Normalidad de los parámetros inorgánicos mayores a ECA 2017 - Bebida de Animales y Riego de Vegetales establecidos por Estaciones

Parámetro inorgánica	Estaciones	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Hierro	Estación 1	0.437	9	0.000
	Estación 2	0.768	9	0.009
	Estación 3	0.924	9	0.427
Plomo	Estación 1	0.785	9	0.014
	Estación 2	0.801	9	0.021
	Estación 3	0.922	9	0.407
Manganeso	Estación 1	0.490	9	0.000
	Estación 2	0.898	9	0.240
	Estación 3	0.674	9	0.001
Magnesio	Estación 1	0.419	9	0.000
	Estación 2	0.879	9	0.152
	Estación 3	0.866	9	0.112
Zinc	Estación 1	0.650	9	0.000
	Estación 2	0.647	9	0.000
	Estación 3	0.673	9	0.001

Los parámetros que no cumplen con los ECA-2017 vienen a ser mostrados en la tabla 5



Tabla 5

Parámetros con valores mayores a los establecidos en ECA 2017 – Categoría 3, Bebida de Animales y Riego de Vegetales

Parametro	Estacion 1			Estacion 2			Estacion 3		
	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022
Potencial de Hidrógeno (pH)	8.22	8.25	8.48	8.27	8.21	8.43	7.95	8.20	8.43
Sulfatos (mg/L)	1392.0000	1087.0700	720.8100	710.9400	912.3000	688.6000	1080.0000	178.6100	247.6000
Hierro (mg/L)	107.00000	4.93500	5.15500	0.56000	0.73310	4.28100	0.51000	0.70440	0.75890
Plomo (mg/L)	0.11461	0.11267	0.13231	0.01978	0.02654	0.10219	0.01768	0.03463	0.02342
Manganeso (mg/L)	487.40000	58.38500	58.71300	22.70800	64.83100	54.43200	22.31700	25.84200	0.35169
Magnesio (mg / L)	732.00000	50.10000	43.80000	49.60000	45.60000	28.50000	46.70000	31.60000	57.80000
Zinc (mg/L)	147.00000	51.40000	53.00000	49.10000	0.42000	0.80600	49.60000	0.11900	0.09600

Aplicaremos la correlación de Spearman a los valores de los parámetros inorgánicos mencionados, ya que hemos visto que no siguen una distribución normal (Tabla 4) y veremos qué nivel de asociación tienen.

Tabla 6

Correlación de Spearman para los parámetros inorgánicos cuyos valores son mayores a ECA 2017 - Bebida de Animales y Riego de Vegetales

Parámetro	Hierro	Plomo	Manganeso	Magnesio	Zinc	
Hierro	Coefficiente de correlación	1.000	,947**	,515**	-0.207	0.159
	Sig. (bilateral)		0.000	0.006	0.299	0.429
	N	27	27	27	27	27
Plomo	Coefficiente de correlación	,947**	1.000	,532**	-,393*	0.097
	Sig. (bilateral)	0.000		0.004	0.043	0.630
	N	27	27	27	27	27
Manganeso	Coefficiente de correlación	,515**	,532**	1.000	-0.252	,397*
	Sig. (bilateral)	0.006	0.004		0.206	0.040
	N	27	27	27	27	27
Magnesio	Coefficiente de correlación	-0.207	-,393*	-0.252	1.000	0.115
	Sig. (bilateral)	0.299	0.043	0.206		0.570
	N	27	27	27	27	27
Zinc	Coefficiente de correlación	0.159	0.097	,397*	0.115	1.000
	Sig. (bilateral)	0.429	0.630	0.040	0.570	
	N	27	27	27	27	27

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La matriz de correlaciones muestra asociaciones ($r > 0.5$) entre hierro, plomo, manganeso, magnesio y zinc, indicando comovilidad geoquímica, mientras que el plomo exhibe un comportamiento independiente. En el contexto metalúrgico de Yauli, estas relaciones se explican por la presencia de concentrados Pb-Ag con hasta 16.20% de Pb y 18.7% de Mn (Romero, 2014), además de la elevada reactividad de la alabandita (MnS), que interfiere la flotación de Pb-Cu y especialmente del Zn debido a su afinidad por sulfato de cobre y xantatos, favoreciendo la transferencia de Mn hacia los relaves. Biogeoquímicamente, el Pb sobre los límites del ECA-2017 se asocia al proceso de sulfuración-xantato (Loyola, 2022), donde se forman complejos metálicos hidrofóbicos que se adsorben en burbujas de aire (Pochteca, 2023), aumentando su partición hacia los concentrados y elevando su potencial ecotóxico, El “Clúster metálico” Fe–Mn–Pb, puede indicar que los procesos de oxidación-precipitación (aireación + filtración sobre óxidos férricos) remueven simultáneamente Fe, Mn y arrastran Pb por adsorción/coprecipitación. Significa, que al monitorear Fe, éste puede usarse como un KPI operativo para anticipar picos de Pb. Confirmado por ρ de Spearman y por la geometría del biplot (vectores próximos, gráfico 3); Fe es un proxy sensible de Pb y guía la tecnología (oxidación-retención). Asimismo, $Pb \leftrightarrow Mg$ (relación negativa) con Mg alto (dureza, aporte carbonatado) muestran Pb más bajo. Puede reflejar dilución o sorbción favorecida en aguas duras. El pH y los SO_4^{2-} como moduladores, no motores.

Tabla 17

Prueba de KMO y Bartlett para los parámetros inorgánicos mayores a ECA 2017 - Bebida de Animales y Riego de Vegetales

Medida Kaiser-Meyer-Olkin 0.658

de adecuación de muestreo

	Aprox.	Chi-
Prueba de esfericidad de Bartlett	cuadrado	252.53
	gl	10
	Sig.	0

A fin de saber la significancia de la asociación entre los parámetros de la Tabla 6, se realizó la prueba conocida como la de Kaiser-Meyer-Olkin, cuyo resultado mostrado en la Tabla 7 nos muestra un valor



de 0.658 y un valor de la esfericidad de Bertlet de 0. Esta prueba realizada, sin embargo, muestra que existe una relación asociativa no tan significativa entre todos los parámetros analizados. Esto demuestra que las asociaciones se dan entre grupos bien definidos, vamos a verlos mediante un análisis de componentes. He agregado los parámetros inorgánicos no establecidos en el ECA-2017. (Tabla 10)

Tabla 8

Matriz de coeficiente de puntuación de componentes para los elementos de valores mayores a ECA 2017

	Componente	
	1	2
Calcio	0.785	-0.558
Estroncio	0.704	-0.636
Hierro	0.837	0.523
Plomo	-0.026	0.256
Manganeso	0.827	0.505
Magnesio	0.868	0.468
Potasio	0.852	-0.081
Sodio	0.828	-0.496
Zinc	0.860	0.145
Sulfatos	-0.064	0.322
Potencial	-0.048	-0.126

de

Hidrógeno

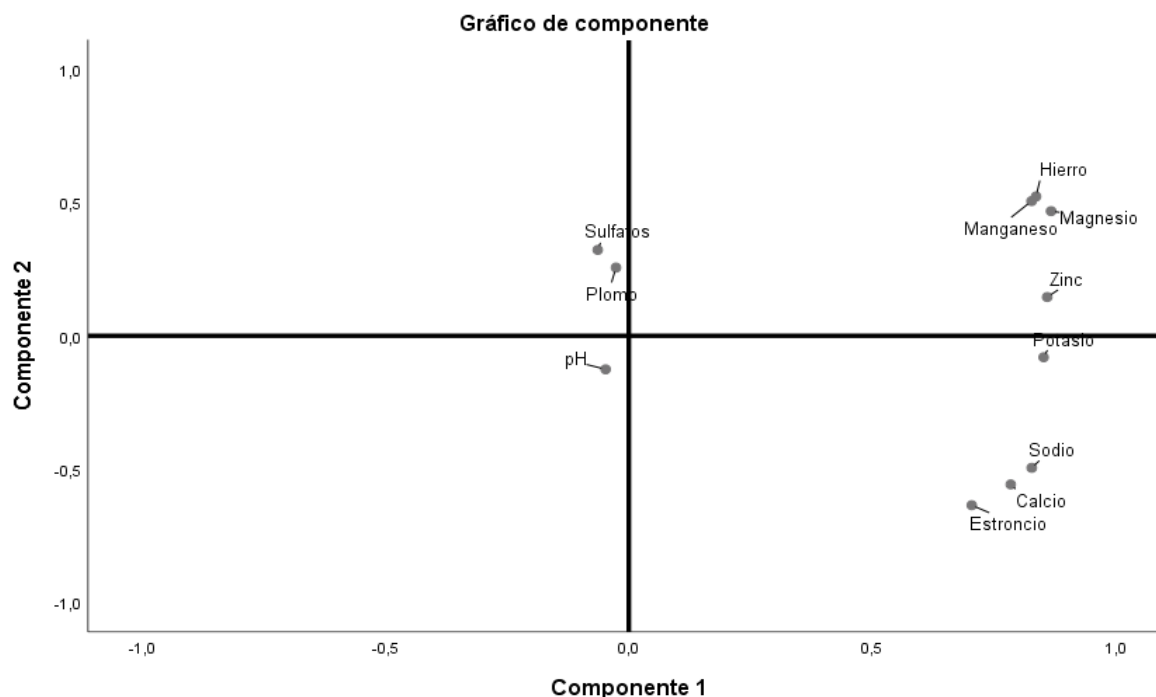
(pH)

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. 2 componentes extraídos.

Gráfico 3

Gráfico de Componentes en espacio rotado para los parámetros de valores mayores a ECA 2017 - Bebida de Animales y Riego de Vegetales



Este grafico de componentes muestra que el módulo (distancia al origen): Ambos están más cerca del origen que el clúster Fe–Mn–Zn y que los alcalinos/terrosos (Na–Ca–Sr–K). Esto significa que aportan menos varianza al eje principal (componente 1) y más al eje secundario (componente 2). El componente 1 muestra una gradiente de mineralización/carga iónica-metálica, mientras que los sulfatos no lo gobiernan en este conjunto (su coordenada en la componente 1 es pequeña).

En la componente 2 vemos que los sulfatos y plomo cargan positivos, reforzando que cuando hay evento redox-metálico, suben juntos en este grafico también conocido como biplot.

Tabla 9

Valores del análisis de varianza para los componentes de los elementos de valores mayores a ECA 2017

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% varianza	de % acumulado	Total	% varianza	de % acumulado
1	5.406	49.149	49.149	5.406	49.149	49.149
2	1.921	17.466	66.615	1.921	17.466	66.615



Los componentes de la gráfica tienen la siguiente información, y representa la información obtenida de las tablas 8 y 9 en la que la componente 1 con una variabilidad de 49.49%, representa las mayores correlaciones a los elementos zinc (86%), magnesio (86.8%), potasio (85.2%), hierro (83.7%), manganeso (82.7%) mientras que la componente 2 con un 17.46% de variabilidad, está representada por los elementos estroncio (63.6%), calcio (55.8%) con las mayores asociaciones, estos parámetros inorgánicos explican la mayor parte de su varianza en el componente. La componente 2 con una varianza de 17.46 % es un contraste ortogonal que discrimina eventos redox-metálicos de incrementos mayoritarios (Na–Ca–Sr), reflejando procesos de especiación/precipitación-adsorción.

Otra mención del presente estudio es también los elementos inorgánicos conocidos como metales pesados, como es el Talio, Estroncio, si bien es cierto, en los ECA 2017 para la categoría de estudio, no se encuentran definidos estos parámetros de medición, de acuerdo con otras legislaciones, al tener valores que otras legislaciones se consideran, pueden producir impactos tanto en los cuerpos de agua como también al entorno del lugar. el estroncio, el cual en presencia de iones de calcio forma como por ejemplo la calcita y la anhidrita a un pH alto y a un pH intermedio ácido se une a las partículas del suelo mediante un intercambio catiónico (Heuel, 2014), los cuerpos de agua de los alrededores de la ciudad de Yauli estudiados tienen cantidades de calcio que pueden formar estos elementos, aunque el pH no se encuentra en un nivel intermedio ácido, habría que realizar otros estudios a fin de verificar esta información.

Anteriormente se describió algunos reactivos químicos que se utilizan en el proceso de flotación en una planta de procesos de minerales, la actividad minera extractiva y de procesamiento de mineral en la zona estudiada, requieren y utilizan reactivos como los que se muestran a continuación (911Metallurgist, 2017):

- En el Molino de Bolas: Cal, sulfato de zinc, cianuro, aceite de pino, xantato isopropílico de sodio.
- Celda de Flotación de plomo: Aceite de pino u otro espumante, xantato etílico de potasio.
- Acondicionadores de Zinc: Cal, sulfato de cobre.
- Celda Flotación de Zinc: Aceite de pino u otro espumante, xantato amílico de potasio.

Asimismo, los minerales de metales bases, como galena (PbS), Cerucita (PbCO₃) en cuerpos de Plomo; Blenda (ZnS), Cincita (ZnO), Hemimorfita (ZnSiO₅H₂) en el Zinc; magnetita (Fe₃O₄), hematita (Fe₂O₃) en el Hierro, piritas (FeS), galena (PbS), en los cuerpos de Plomo – Zinc (Condezo, 2024), están asociados a cuerpos mineralizados. Cuando se produce oxidación y lixiviación de los minerales mencionados, generalmente tiene como resultado, la generación de ácidos y mezclas de minerales; de este modo, si un potencial de ácido se produce en un depósito de mineral o desecho de mina, generalmente depende de la cantidad de sulfuro de hierro presente (Montano, et al., 2022). En estos desechos de minas o los relaves, existen una serie de elementos inorgánicos (reactivos) que intervinieron en los procesos de obtención de minerales; y en esos desechos, probablemente continúan otras reacciones químicas. En minería, se usa el término "drenaje ácido de mina" o DAM cuando producto de estas reacciones, el contenido aflora o se vierte fuera de los lugares en donde se ubican los relaves. El drenaje ácido se refiere a: drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. El desarrollo de estos drenajes es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento. (Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas, 2023.). Por otro lado, el manganeso está asociado con minerales de hierro y se encuentra en el océano, aguas dulces y suelos. Es un oligoelemento esencial para plantas y animales, las especies acuosas comunes son el Mn²⁺ reducido y el Mn⁴⁺ oxidado. La química del manganeso en el agua es similar a la del hierro. Cuando se implementó el D.S. N° 004-2017-MINAM vigente desde el año 2021, las compañías mineras tenían muchos inconvenientes, tratando de reducir los metales disueltos pesados como el Cu, Fe, Zn, entre otros; sin embargo, estas compañías, no reducen la concentración del ion manganeso. Tras la exposición al aire u otros oxidantes, el agua subterránea que contiene manganeso generalmente precipitará MnO₂ negro. La contaminación por manganeso ha sucedido durante muchos años con las comunidades de Yauli y alrededores, como mencione anteriormente todavía continua, tal vez porque las Planta Mineras en el distrito de Yauli todavía no neutraliza el ion Mn²⁺ (Cano et al., 2022).



PARAMETROS INORGANICOS NO MENCIONADOS EN EL ECA 2017

DUREZA DEL AGUA DE LA ZONA

Tabla 10

Resumen estadísticas de los parámetros Sulfatos, Cloruros, Calcio, Magnesio y Potasio por Estaciones

Estadísticos	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Sulfatos	Cloruros
	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg / L)	(mg/L)	(mg/L)
N	27	27	27	27	27.000	18.000
Media	222.815	64.900	10.389	14.322	631.366	9.833
Mediana	179.000	43.200	9.200	13.000	677.680	8.960
Moda	45.000	30,3000	14.000	17.000	123,7600	6,8200
Desv.	146.690	133.632	6.542	6.013	386.272	5.118
Desviación						

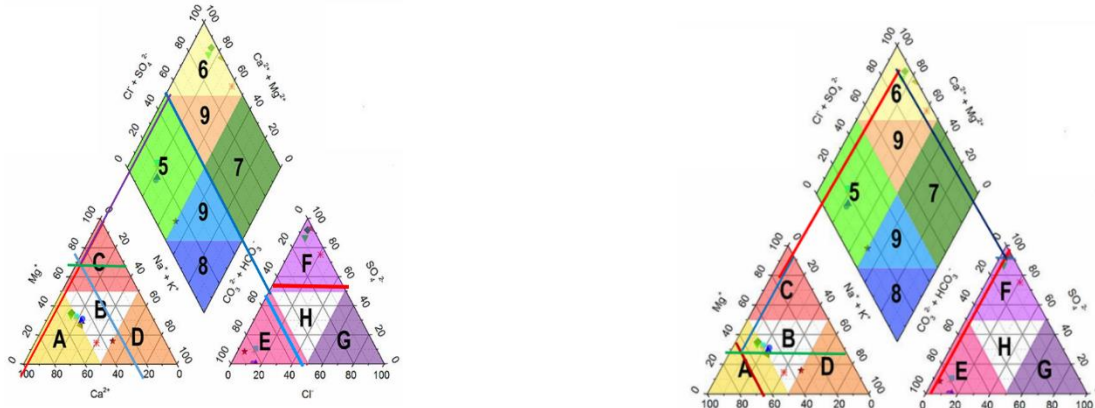
Tabla 11

Parámetros inorgánicos con valores mayores no establecidos en ECA 2017 – Categoría 3, Bebida de Animales y Riego de Vegetales

Parametro	Estacion 1			Estacion 2			Estacion 3		
	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022	Jun 2021	Jun 2022	Dic 2022
Calcio (mg / L)	497.00000	423.00000	365.00000	430.00000	316.00000	174.00000	393.00000	45.00000	94.00000
Estroncio (mg / L)	24.66900	26.10700	23.07700	26.00300	17.66100	11.49900	23.17600	0.25968	0.43419
Potasio (mg / L)	32.00000	16.00000	14.00000	16.00000	9.20000	6.60000	14.00000	4.30000	19.00000
Sodio (mg / L)	28.00000	25.00000	22.00000	21.00000	17.00000	12.00000	17.00000	8.00000	14.00000
Talio (mg / L)	0.15658	0.00243	0.00142	0.00134	0.00101	0.00099	0.00113	0.00001	0.00001
Torio	0.00213	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001

Gráfico 3

Diagrama de Piper para los aniones y cationes con valores máximos y normalizados



Cuando evaluamos en la graficas de Piper con los valores normalizados, las caracterizaciones de estos diagramas nos muestran que los cuerpos de aguas superficiales estudiadas se encuentran entre las sulfatadas cálcicas y las bicarbonatadas cálcicas. Que entre otras consecuencias podría afectar a los animales (Penner et al, 2020), “la exposición de las novillas a concentraciones crecientes de sulfato en el agua disminuyó linealmente las concentraciones séricas de cobre”. Las aguas sulfatadas con concentraciones mayores a 20 % mEq/L, se denominan sulfatadas mixtas. En cuanto al calcio y magnesio, aparte de la dureza con lo que es conocida el tipo de agua, estos elementos inorgánicos, tienden a depositarse en los fondos de los cuerpos de agua, esto en función del tipo de terreno, relieve, corrientes de agua, entre otras condiciones (Kuriata & Szymczyk, 2015).

Otra mención del presente estudio es también los elementos inorgánicos conocidos como metales pesados, como es el Talio, Estroncio, si bien es cierto, en los ECA 2017 para la categoría de estudio, no se encuentran definidos estos parámetros de medición, de acuerdo con otras legislaciones, al tener valores que otras legislaciones se consideran, pueden producir impactos tanto en los cuerpos de agua como también al entorno del lugar. el estroncio, el cual en presencia de iones de calcio forma como por ejemplo la calcita y la anhidrita a un pH alto y a un pH intermedio ácido se une a las partículas del suelo mediante un intercambio catiónico (Heuel, 2014), los cuerpos de agua de los alrededores de la ciudad de Yauli estudiados tienen cantidades de calcio que pueden formar estos elementos, aunque el pH no se encuentra en un nivel intermedio ácido, habría que realizar otros estudios a fin de verificar esta información.

Fujihara, (2024) menciona que el talio es un elemento que también se obtiene del refinado de Fierro, Cadmio y Zinc como subproducto (como cita Galván-Arzate y Santamaría, 1998) y se separa por electrólisis (como cita Blain y Kazantzis, 2015), la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., describe que el límite permisible para e Talio es de 2 $\mu\text{g/L}$. En los resultados de la Estación 1 y 2, encontramos valores mayores (hasta de 156 $\mu\text{g/L}$) el cual determina que ese tiempo (año 2021) la zona estaba muy contaminada con este elemento

Finalmente, luego del análisis de los componentes en los cuerpos de agua, se tiene elementos que, aunque no aparecen listados en los estándares para la categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de animales que algunos de estos cuerpos se encuentran afectados por elementos metales básicos (plomo y zinc), ferrosos (hierro, manganeso). Existen asociaciones también entre los sulfatos y plomo. Se verifica que el tipo de aguas superficiales son las cálcicas, los metales hierro y manganeso se demuestran que mantienen uniones, mientras que el calcio juntamente con el estroncio muestra la relación natural entre esos elementos.

De todo lo anterior descrito, existe un impacto contaminante de las aguas superficiales por la actividad minera en el caso específico del distrito de Yauli, desde en los relaves. Siendo la Estación 1, la más afectada, aunque con señales claras de recuperación en 2022. La Estación 2 se está deteriorando, especialmente en metales, lo que sugiere una fuente activa o reciente. La Estación 3 es la más estable y limpia, reforzada por mejoras sostenidas en sulfatos y metales.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la mayoría de los parámetros cumplen con los estándares de calidad de agua - ECA 2017 para las Estaciones de estudios establecidos. Sin embargo, en la estación 1, 2 y 3 es el pH, el parámetro que excede los máximos valores del estándar de calidad de agua en la Categoría 3 Riego de Vegetales y Bebida de animales, según ECA 2017.
- Se determinó que el parámetro químico sulfato, excede los máximos valores del estándar de calidad de agua en la Categoría 3 Riego de Vegetales y Bebida de animales, según ECA 2017.
- Se determinaron que los parámetros inorgánicos plomo, manganeso, magnesio, hierro y zinc, en las muestras de aguas superficiales analizadas contienen valores que exceden los máximos valores

permitidos del estándar de calidad de agua en la Categoría 3 Riego de Vegetales y Bebida de animales, según ECA 2017.

- Se ha determinado que existen altas correlaciones entre los parámetros zinc (86%), magnesio (86.8%), potasio (85.2%), hierro (83.7%), manganeso (82.7%).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

911 Metallurgist (01 de diciembre de 2017)

<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/procesamiento-minerales-plata-plomo-zinc-flotacion/>

Biamont I., Brousett M., Chirinos M., Rondan G., (2021) *Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú* vol.21

no.21 http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2021000100011

Cano D., Castillo R., Olivera E., Pulido P. (2022). Uso de Hipoclorito de Sodio para Disminuir la Concentración de Mn^{2+} en Aguas Ácidas de Mina para el Mejoramiento de la Calidad del Agua del Río Yauli, Junín, Perú. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24 (3), 208-219.

<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.440>

Fujihara, Y., & Nishimoto, N., (2024) Thallium - poisoner's poison: An overview and review of current knowledge on the toxicological effects and mechanisms. *Current Research in Toxicology*. 6 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.crttox.2024.100157>

Gazire M., Valente T., Marinho A., Sequeira A., Ferreira R., Guabiroba F., Da Mata F., Magalhaes M., ...Rebelo G. (2023) Hydrochemistry, Elements Distribution and Their Potential Recoveries in Gold Metallurgical Treatment Tailings Dams, *Water*, 15 (15), 2714.

<https://doi.org/10.3390/w15152714>

Heuel-Fabianek, B. (2014). Coeficientes de partición (Kd) para la modelización de procesos de transporte de radionucleidos en aguas subterráneas. *Berichte des Forschungszentrums Jülich* . 4375 . ISSN 0944-2952 .

<https://dspace.unza.zm/items/a3054ce1-149d-44bd-a343-c7ae6fe1373f>

Kuriata, A., Szymczik, S., (2015) Concentraciones de magnesio y calcio en las aguas superficiales y los depósitos de fondo de un sistema río-lago. *Revista de Elementología* 20(3), 677-692.



https://www.researchgate.net/publication/283132040_Magnesium_and_calcium_concentrations_in_the_surface_water_and_bottom_deposits_of_a_river-lake_system

Loyola, F., (2022), *Comportamiento de la sulfurización de minerales complejos de plomo-plata para su recuperación adecuada por flotación en la Compañía Minera Raura año 2021* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú, Cerro de Pasco]

Ministerio del Ambiente (2017) *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Decreto supremo N° 004-2017-MINAM <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>

Ministerio de Energía y Minas -MINEM (2023) *Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas* <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4699428-normas-tecnicas-para-diseno-ambiental>

Montano, Y., Tapia, P., Quispe, C., Fuentealba, B. (2022). *El drenaje ácido de roca y sus potenciales impactos ambientales* (Folleto). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM) <https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/cf630013-7d9d-4d0f-a8af-5a90db9dd540/content>

Penner, G., Johnson, J., Sutherland, B., Clark, L., Elford, C, (2020) Effects of drinking water sulfate concentrations on feed and water intake, growth, and serum mineral concentrations in growing beef heifer. *Applied Animal Science* 36(2) 201-207 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590286520300379?via%3Dihub>

Peña Neira, S., & Araya Meza, P. (2021). *Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente*. Revista de la Facultad de Derecho, 50, 29 <https://www.scielo.edu.uy/pdf/rfd/n50/2301-0665-rfd-50-e106.pdf>

Pochteca Peru (13 de octubre de 2023) *¿Qué son los xantatos?* <https://peru.pochteca.net/que-son-los-xantatos/>



ANEXOS

Tabla A1:

Parámetros de Campo según categoría 3 ECA 2017

Parámetros de Campo	Unidad de Medida	Valor Permitido (Riego Vegetales)	Valor Permitido de (Bebida de Animales)
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.4	6.5 – 8.4
Conductividad	µS / cm	2 500	5 000
Temperatura (T)	° C	Δ 3	Δ 3

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual

multianual del área evaluada.

Tabla A2:

Parámetros Físico Químico para Riego de Vegetales y Bebida de Animales según categoría 3 ECA 2017

Parámetro Físico Químico	Unidad de Medida	Valor Permitido (Riego Vegetales)	Valor Permitido de (Bebida de Animales)
Cianuro Wad	mg / L	0.1	0.1
Cloruros	mg / L	500	No Aplica
Color (después de filtración simple)	Color Verdadero Escala PV Co	100 (a)	100(a)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg / L	15	15
Fenoles		0.002	0.01
Oxígeno disuelto (Valor Mínimo)	mg / L	≥ 4	≥ 4
Nitratos ((NO ⁺ ₃)	mg / L	100	100
Nitritos (NO ⁻ ₂)	mg / L	10	10
Sulfatos	mg / L	1000	1000

Tabla A3:

Parámetros Inorgánicos según categoría 3 ECA 2017



Parámetro Inorgánico	Unidad de Medida	Valor	
		Valor Permitido (Bebida de Animales)	Permitido de (Riego de Vegetales)
Aluminio	mg / L	5	5
Arsénico	mg / L	0.2	0.1
Bario	mg / L	No aplica	0.7
Berilio	mg / L	0.1	0.1
Boro	mg / L	5	1
Cadmio	mg / L	0.05	0.01
Cobre	mg / L	0.5	0.2
Cobalto	mg / L	1	0.05
Cromo Total	mg / L	1	0.1
Hierro	mg / L	No aplica	5
Litio	mg / L	2.5	2.5
Magnesio	mg / L	250	No aplica
Manganeso	mg / L	0.2	0.2
Mercurio	mg / L	0.01	0.001
Níquel	mg / L	1	0.2
Plomo	mg / L	0.05	0.05
Selenio	mg / L	0.05	0.02
Zinc	mg / L	24	2