

CALIDAD DEL AGUA DE LA IRRIGACIÓN CANAL N DEL RÍO LLALLIMAYO Y APTITUD AGRÍCOLA DISTRITO CUPU - MELGAR 2018

WATER QUALITY OF THE IRRIGATION CHANNEL N OF THE LLALLIMAYO RIVER AND AGRICULTURAL APTITUDE DISTRITO CUPU - MELGAR 2018

Julio Cano Ojeda¹, Julio Atajo Condori

¹Universidad Privada San Carlos, Facultad de Ingenierías, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Jr. Conde de Lemus N° 128 Puno. julio.cano@upsc.edu.pe, amb.atajo@gmail.com

RESUMEN

El área de investigación geográfica está ubicada en los distritos de Llallí y Cupu, provincia de Melgar, región de Puno. La investigación se llevó a cabo de agosto a diciembre de 2018. La mayoría de los conflictos planteados en la microcuenca del río Llallimayo se deben al uso y manejo del agua. Los campesinos "comuneros" culpan a las actividades extractivas mineras de ser un elemento perturbador de la calidad del agua en el área. El objetivo de la investigación fue: evaluar la calidad del agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo del distrito de Cupu y, determinar su idoneidad para fines de riego. Para ello se realizó un análisis físico-químico del agua en función de la temperatura, turbidez, pH, conductividad eléctrica, cationes solubles, aniones solubles, sólidos totales, alcalinidad y relación de absorción de sodio (SAR). Las características fisicoquímicas y microbiológicas definen la calidad y aptitud de las aguas según los parámetros y rangos de tolerancia establecidos para el consumo humano, animal o agrícola. Se recogieron seis (06) muestras de agua, tres por curso, alto y bajo, considerando la represa Canal N del río Llallimayo como punto medio. Se controlaron los protocolos y procedimientos para la recolección de muestras de agua, verificando el estado actual de los parámetros temperatura, pH, conductividad eléctrica, cationes, aniones, alcalinidad, sólidos totales, dureza relación de absorción de sodio (SAR) y carbonato de sodio residual (SCR) a través de la guía para la interpretación de la calidad del agua para el Manual de riego 29 de la FAO calidad del agua para la agricultura. Los resultados más relevantes según la calificación de Riverside corresponden a C1S2 con una EC. 0.331 mS / cm, RAS 8.17, CSR 2.17, STD 0.109 mg / l, dureza total 27.50, alcalinidad total 63.38, nitratos 0.64 meq / l, concluyendo que: el agua se clasifica como C1S2, CE sin peligro.

Palabras clave: características fisicoquímicas, salinidad, alcalinidad, sodicidad, riego

ABSTRACT

The geographic research area is located in the districts of Llalli and Cupu, province of Melgar, Puno region. The research was carried out from August to December 2018. The majority of the conflicts raised in the Llallimayo river micro-basin are due to the use and management of water. Peasants farmers "comuneros" blame mining extractive activities to be a disturbing element of water quality in the area. The research objective was to evaluate the quality of the waters of the Irrigation Channel N of the Llallimayo river of the Cupu district y, determine its suitability for irrigation purposes. For that aim a physical-chemical analysis of water was done based on temperature, turbidity, pH, electrical conductivity, soluble cations, soluble anions, total solids, alkalinity and SAR to. The physicochemical and microbiological characteristics define the quality and aptitude of the waters according to parameters and ranges of tolerance established for human, animal or agricultural consumption. Six (06) water samples, three per course, high and low, considering the Channel N dam of the Llallimayo river as a midpoint were collected. Protocols and procedures for the collection of water samples were controlled, verifying the current status of the parameters temperature, pH, electrical conductivity, cations, anions, alkalinity, total solids, hardness sodium absorption ratio (SAR) and residual sodium carbonate (SCR) through the guide for the interpretation of water quality for irrigation manual 29 of the FAO Water Quality for Agricultural. The most relevant results according to the Riverside rating correspond to C1S2 with an EC. 0.331 mS / cm, RAS 8.17, CSR 2.17, STD 0.109 mg / l, total hardness 27.50, total alkalinity 63.38, nitrates 0.64 meq / l, concluding that: water classifies as C1S2, CE without danger.

Key words: physicochemical characteristics, salinity, alkalinity, sodicity, irrigation

*Autor para correspondencia: julio.cano@upsc.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Agua, elemento dinámico en el sistema climático, indispensable para el funcionamiento de los ecosistemas. Fundamental para la humanidad, abarca todas las actividades sociales, económicas y ambientales; es un factor habilitador o limitante para el desarrollo social y tecnológico; posible causa de bienestar o miseria, cooperación o conflicto Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2017). Las diversas demandas por el agua, generalmente, por encima de la disponibilidad hídrica debido al uso creciente del recurso, está generando gran insatisfacción y consecuente reducción de los caudales ambientales indispensable para lograr un equilibrado estado ecológico (Chávez y González, 2015). Esta situación se viene agravando en los países con bajos ingresos, mayor crecimiento poblacional y deficiente gestión de aguas (WWAP, 2018). Siendo la agricultura una de las actividades que sopesa un significativo déficit de agua, actualmente es responsable del 70 % de las extracciones de agua dulce y algo más del 90 % de su uso consuntivo (FAO, 2013). A nivel mundial el 70 % del agua dulce disponible, se utiliza en la agricultura, considerando que gran parte de los sistemas de irrigación son ineficientes perdiendo aproximadamente el 60 % del agua por evaporación e infiltración (Avilés, 2016). En el Perú el 70 % de la población habita en la costa con tan sólo una disponibilidad del 1.7 % de agua, y una mayor proporción en agricultura (85 % del agua disponible), además, del crecimiento poblacional, desarrollo de procesos extractivos cambio climático y desglaciación (Palacios, 2016).

Las características fisicoquímicas y microbiológicas definen la calidad y aptitud de las aguas establecidas por parámetros y rangos de tolerancia para consumo humano, animal y agrícola. De sus características físicas, químicas y biológicas depende su calidad (Ayers y Westcot, 1976). Para riego dependerá del contenido de iones y sales solubles (Sosa, 2009). Debido a que, las aguas salinas en la agricultura perturban las características químicas de los suelos así como las elevadas concentraciones de sodio y cloro pueden provocar desórdenes nutricionales y toxicidad en las plantas (Centro de Investigación Regional del Noroeste, 2009). Advirtiendo que los riegos frecuentes con aguas que contienen sales pueden salinizar los suelos y como consecuencia reducir la disponibilidad de agua para los cultivos; debido a que la presencia de sales resta la capacidad de las plantas para absorber el agua, fenómeno conocido como potencial osmótico (García, 2012).

Ya que el efecto adverso del agua de riego sobre el suelo está vinculado por la relación de sodio con los cationes totales más que a la concentración absoluta de sodio (Rattalino, 2017). Por lo tanto la acumulación de iones sodio en el complejo coloidal del suelo desestabilizan a los agregados provocando dispersión de las partículas de arcilla obstruyendo la porosidad alterando sus propiedades físicas (FAO, 1988). Se suman a las propiedades fisicoquímicas, los microorganismos patógenos que contaminan los productos, y los metales pesados y mutagénicos que salinizan los suelos, afectando su productividad (Guadarrama y Galvan, 2015). Por lo que es necesario, considerar de los suelos tipo de cultivo, clima, textura y la toxicidad de iones específicos como aspectos importantes para el estudio de calidad del agua para riego de cultivos (Centro de Investigación Regional del Noroeste, 2009).

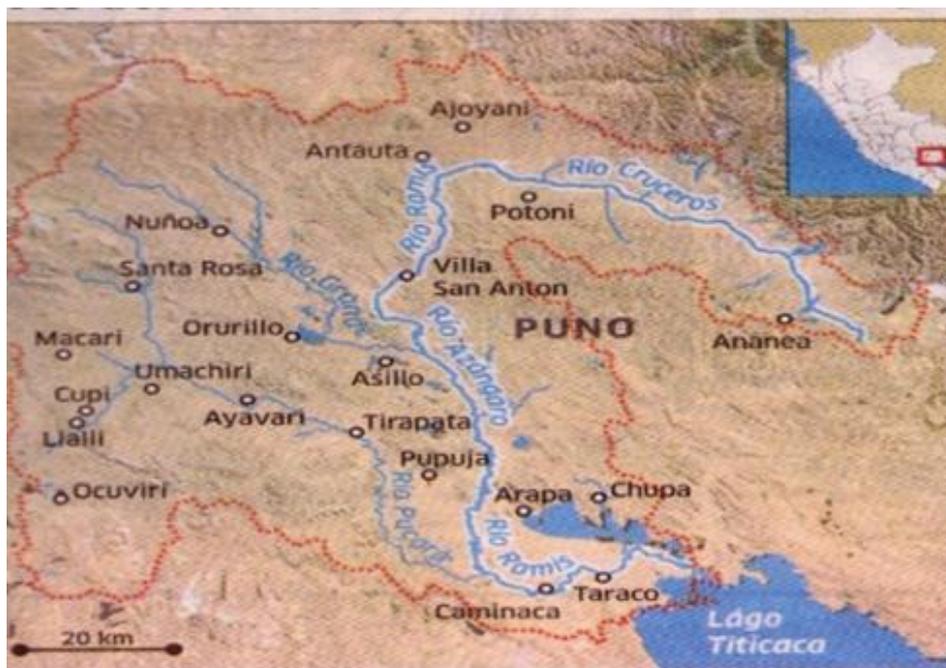
El sector agrario consume la mayor cantidad de agua en la etapa de producción comparado con otros sectores por la creciente demanda de productos pecuarios, en todas las etapas de las cadenas de valor ganadero, afectando la calidad y disponibilidad del agua (WWAP, 2012). En México de los 314 292 derechos del agua subterráneas, el 76 % del volumen concesionado es extraído para fines agrícolas (Caravantes *et al.*, 2013). En el Perú la agricultura es una de las actividades que utiliza la mayor cantidad de agua superficial, el 2014, usó 9 mil 646 millones de metros cúbicos de agua superficial de la vertiente del Pacífico, representando una disminución del 27.8 % respecto al 2013; vertiente del Atlántico mil

708 millones de m³, representando una disminución del 25.7 % respecto al 2013; y 332 millones de m³ de la vertiente del Titicaca, representando un aumento de 9.6 % respecto al 2013. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI-PERU, 2015).

Gran parte de los conflictos suscitados en la región de Puno son de carácter socio ambientales con mayor frecuencia por el agua; los comuneros manifiestan que estos escenarios se originan debido a las actividades extractivas de la minería, denuncian mortalidad de peces y animales domésticos; en el río Jatun Ayllu se observa agua, gravas y arenillas de color amarillento, similar material en algunas áreas de la cuenca alta del río Llallimayo (distritos de Ocuvi, provincia de Lampa y los de Llallí, Cupi de la provincia de Melgar), especialmente por la contaminación del agua, recurso importante para los pobladores, quienes en su mayoría se dedican a las actividades agropecuarias.

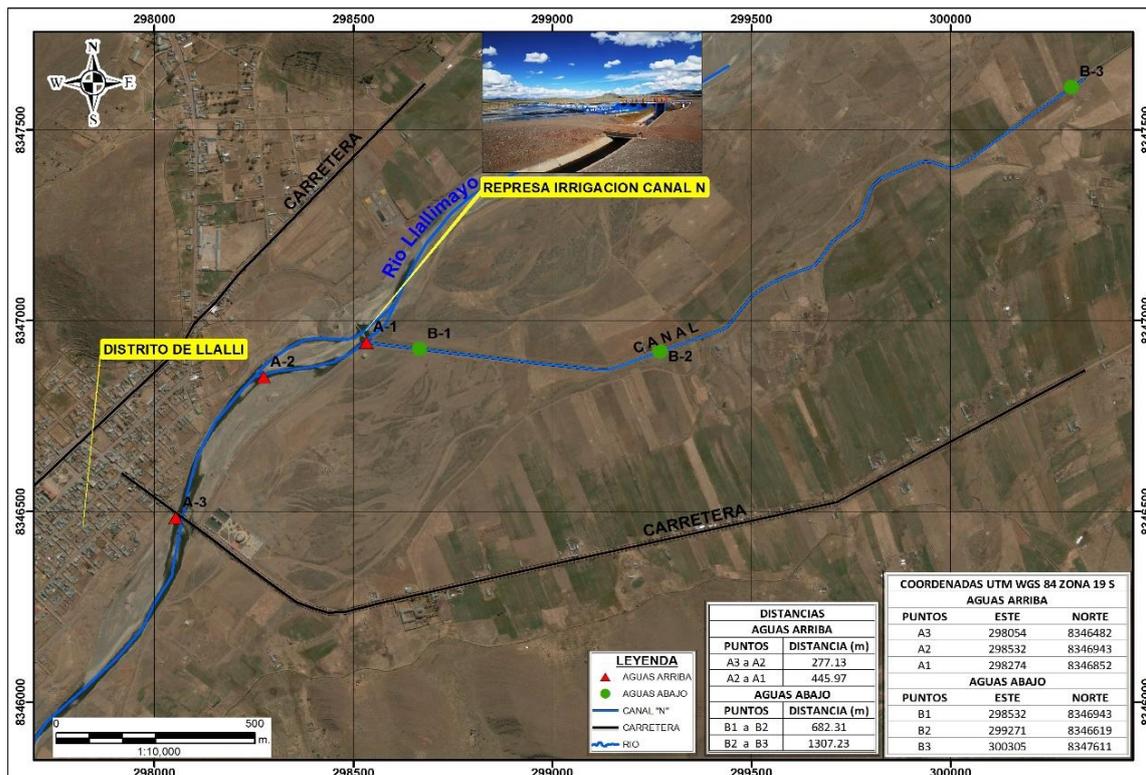
MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de investigación geográficamente se ubica en el distrito de Llallí Cupi provincia de Melgar departamento de Puno. Altitud: 3950.00 msnm. latitud este 294,911.378 m. norte 8343,943.106 m. Ubicación hidrográfica: cuenca endorreica lago Titicaca, sub cuenca Ramis, microcuenca Llallimayo Quebrada Llallimayo; Su cota más alta está en el nevado Lamparasi 5.327 msnm la más baja en la confluencia con el río Santa Rosa a 3.894 msnm; abarca un área de 1,971 km² un perímetro de 284 km. Comprende los distritos de Ocuvi, Palca, Cupi, Llallí, Macari y Umachiri; con una población ganadera de 1'326,553 animales, su demanda hídrica anual de 1.506 MMC, representa 31.06 % del volumen total demandado (Aragón y Santibañez, 2003).



Fuente: <https://lasmejoresideasdejeugenio.wordpress.com>

Figura 1. Cuenca del río Ramis.



Fuente: Sincronización de arcmap con Google Earth

Figura 2. Ubicación geográfica Irrigación Canal N y puntos de muestreo

La investigación es no experimental, porque no se manipularon las variables ni se modificó la realidad, corresponde al diseño descriptivo ya que se muestran y describen las características fisicoquímicas del agua y, explicativo por que trata en explicar por qué ocurre y en qué condiciones se encuentra el agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo (Sampieri, 2014).

Se tomaron 6 muestras de agua, tres por curso, alto y bajo con las siguientes distancias entre puntos, considerando el acceso y area representativa de la irrigación las siguientes (A1 – A2 = 277.13 m. A2 – A3 = 445.97 m.), y (B1 – B2 = 682.31 m. B2 – B3 = 1307.23 m.) respectivamente, y como punto medio la represa Canal N del rio Llallimayo; para el efecto se aplicaron los procedimientos y protocolos para el recojo de muestras en el cuerpo receptor obteniendo información de la calidad de sus aguas; el recojo de muestras se realizó el día 20 de agosto del 2018 en horas de la mañana de 8.30 am. a 11.00 am. debido a la distancia, acceso, medición y recojo de muestras en los puntos de muestreo, se determinó realizar el muestreo en época seca por el menor caudal del río y la probabilidad de una mayor concentración de sales y de otros parámetros, el criterio se justifica por el inicio de la campaña agrícola con la preparación de tierras, setiembre a diciembre periodo en el que hacen uso del riego por la menor frecuencia duración e intensidad de las lluvias. Durante el período seco se incrementa el pH, debido al aumento de las concentraciones de todos los iones, a excepción de magnesio y potasio (Balmaseda y García, 2013). Las temperaturas y conductividad eléctrica se registraron in situ en los seis puntos de muestreo haciendo uso de un multiparámetro.

Fase laboratorio, Para el análisis de las muestras de agua se procedió con la metodología de laboratorio de aguas y suelos del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria INIA Estación Experimental Illpa Puno, ubicado en la localidad de Salcedo, cumpliendo con el primer objetivo calidad del agua mediante las características físico-químicas como: Temperatura, pH. Instrumento multiparámetro, conductividad



eléctrica mediante el conductímetro, cationes (calcio, magnesio mediante valoración complexométrica EDTA, sodio y potasio método fotometría); aniones (carbonatos, bicarbonatos método titulación ácido sulfúrico 0.01 N y 0.05 N); nitratos método Kjeldhal; sulfatos método del espectrofotómetro y cloruros titulación con Nitrato de Plata 0.0141 N), alcalinidad (CaCO₃) sólidos totales y SAR. Mediante la guía para la interpretación de la calidad del agua para riego Manual 29 de la FAO Water Quality for Agricultural (Ayers y Westcot, 1985) Laboratorio de salinidad del USDA (USS Lab.) de la Universidad de California Riverside. El laboratorio de Salinidad de Riverside (U.S.) para clasificar el peligro de salinización de los suelos relacionando la conductividad eléctrica de aguas para el riego; peligro de sodificación del suelo y toxicidad de algunos iones manual de uso e interpretación de aguas (Jarsun, 2008); luego se determinó la clase de acuerdo a los índices de calidad de uso de aguas para riego la clasificación de la FAO riesgo de salinidad de suelos.

Salinidad y sodicidad índice SAR relación de absorción de sodio: basada en la conductividad eléctrica del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo y en el cálculo de la relación de adsorción de sodio RAS para determinar el riesgo de sodificación o alcalinización, por la fórmula (Oliás, 2005)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)^{++}}{2}}}$$

Se aplicaron las Normas de L.V. Wilcox Diagrama de salinidad de Estados Unidos de América (1955) para relacionar el porcentaje de sodio y la conductividad eléctrica. (Gomez, 2009). (Ayers y Westcot, 1985) mencionan que los criterio que definen la calidad de agua para riego y el peligro para los cultivos son la salinidad, sodicidad y toxicidad.

Tratamiento estadístico, Mediante el método estadísticos descriptivo y comparación de medias entre los cursos alto y bajo del río Llallimayo, considerados entre el tramo puente Llallí y tramo intermedio de la irrigación, como punto medio la represa Canal N, para el efecto se calculó la media aritmética simple (\bar{x}), desviación estándar (S^2) y el coeficiente de variabilidad (CV) por curso alto y bajo, considerando la CE., RAS, alcalinidad SCR y nitratos, luego se compararon los resultados estableciendo las diferencias y probables causas de los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico del agua irrigación Canal N rio Llallimayo Cupi.

Tabla 1. Parámetros físico-químico por muestra y curso de agua, tramo puente Llalli irrigación Canal N Cupi rio Llallimayo.

Parámetros	Cursos											
	Bajo						Alto					
	B3		B2		B1		A1		A2		A3	
Temperatura	14.7	°C	11.7	°C	10.8	°C	11	°C	11	°C	12.8	°C
pH	8.12		7.49		8.03		8.13		7.72		7.72	
C.E.	0.269	25°mS/cm	0.430	25°mS/cm	0.309	25°mS/cm	0.350	25°mS/cm	0.241	25°mS/cm	0.383	25°mS/cm
Sales Totales	82.00	mg/l	129.00	mg/l	94.00	mg/l	106.00	mg/l	73.00	mg/l	165.00	mg/l
Dureza Total	21.91	CaCO ₃ (GHF)	31.06	CaCO ₃ (GHF)	22.03	CaCO ₃ (GHF)	26.90	CaCO ₃ (GHF)	36.47	CaCO ₃ (GHF)	26.34	CaCO ₃ (GHF)





Alcalinidad T	40.00	CaCO ₃	40.00	CaCO ₃	60.00	CaCO ₃	40.00	CaCO ₃	60.00	CaCO ₃	140.00	CaCO ₃
R.A.S.	7.02		10.90		6.20		9.76		5.87		9.24	
S.C.R.	1.92		6.16		1.02		0.37		2.54		2.44	
CATIONES	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l								
Calcio	1.56	31,26	1.68	33.66	1.66	33.26	2.48	49.69	2.34	46.89	1.34	26.85
Magnesio	3.52	42,80	4.52	54.96	2.74	33.31	2.89	35.14	4.94	60.07	3.92	47.66
Potasio	8.40	328,44	11.30	441.83	8.10	316.71	11.50	449.65	14.10	551.31	11.60	453.56
Sodio	11.20	257,60	19.20	213.90	9.20	211.60	16.00	368.00	11.20	257.60	15.00	345.00
TOTAL	24.68	660.10	36.70	744.35	21.70	594.88	32.87	902.48	35.28	915.87	31.6	872.07
ANIONES	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l								
Cloruros	2.20	78,01	2.20	78.01	2.10	74.46	2.10	74.46	1.70	60.28	3.40	120.56
Sulfatos	0.87	41,78	0.82	39.38	0.95	45.62	1.66	79.72	1.02	48.99	0.95	45.62
Carbonatos	T	T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
Bicarbonatos	0.04	2,44	0.04	2.44	0.06	3.66	0.04	2.44	0.06	3.66	0,14	8.54
TOTAL	3.11	132,23	3.06	119.83	3.11	123.74	3.80	156.62	2.78	112.93	4.49	174.72
Otras determ.	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l								
Nitratos	0.40	24.80	0.90	55.80	0.70	43.40	0.90	55.80	0.50	31.00	0.45	27.90

Los parámetros fisicoquímicos, producto de la medición in situ y los análisis de laboratorio presentados, se registró la temperatura más alta en el curso bajo punto de muestreo B3 con 14.7 °C registrada a horas once a.m. y la menor en el punto de muestreo B1 10.8 °C, a horas 8.30 a.m. el punto B2 con 11,7 C° a horas 9.00 a.m.; en el curso alto los puntos A1 y A2 ambos registraron una temperatura de 11 °C, el punto más alto A3 con 12.8 °C los tres puntos registrados entre 9.30 y 11 a.m. se registró una temperatura media de 12 °C. estos registros de temperatura indican una relación inversamente proporcional entre la temperatura y la altura respecto al nivel del mar y el lugar de muestreo, a mayor altura menor temperatura del agua (Álvarez *et al.*, 2008).

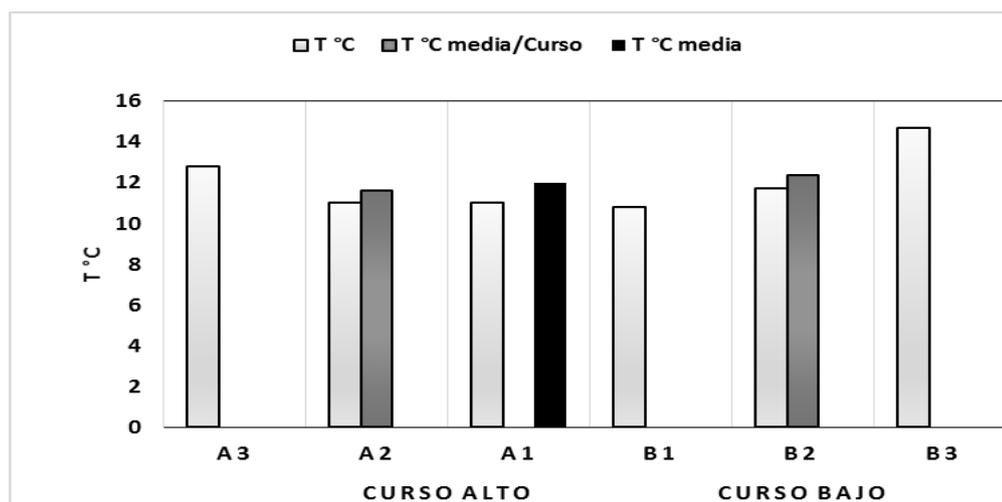


Figura 3. Temperaturas por muestra, por cursos y promedio general

Comparando los resultados con la temperatura media normal de los últimos 20 años de la región Puno, máxima 16 °C y mínima de 6 °C y, las temperaturas óptimas y umbrales para los cultivos forrajeros como avena, asociaciones alfalfa dactylis, reye gras trébol, y algunos cultivos alimenticios de importancia económica como quinua y papa, se puede indicar que, las temperaturas registradas a fines del mes de agosto se encuentran entre los rangos de tolerancia normales para los cultivos mencionados; la temperatura es uno de los factores de mayor influencia en el normal desarrollo de los procesos fisiológicos y consecuente rendimiento de los cultivos, por consiguiente la temperatura del agua para



riego es de vital importancia conocida su relación con la temperatura del suelo para decidir el momento oportuno para el riego y evitar impactos fisiológicos negativos en las plantas por temperaturas extremas. Al respecto (Rebour y Deloye, 1971) expresan que, al regar suelos muy secos pueden provocar problemas de hidratación capaces de elevar peligrosamente la temperatura de los suelos afectando principalmente a las plantas en estado vegetativo inicial, recomendando no regar en pleno calor o cuando el agua fría en contacto con las hojas recalentadas pueden causar efectos negativos en las plantas.

Entre los parámetros más relevantes para evaluar la calidad de agua para riego es la concentración de sales totales, normalmente medida como conductividad eléctrica (Baccaro *et al.*, 2006). Comparando los resultados obtenidos (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del agua de acuerdo a la conductividad eléctrica y contenido de sales totales por curso (Bajo y Alto) de la irrigación Canal N río Llallimayo.

Clase	Clasificación	Conductividad Eléctrica (mS/cm a 25°C)			Contenido de Sales Totales (g/l)		
		Parámetros	CB	CA	Parámetros	CB	CA
C1	Bajo	< 250	0.336	0.325	< 0.15	0.102	0.115
C2	Moderado	250 - 750			0.15 - 0.50		
C3	Medio	750 - 2250			0.50 - 1.15		

Concernientes a la conductividad eléctrica y contenido de sales totales se observa que, existe una diferencia de 11 mS/cm a favor del curso bajo (CB) influenciada por la temperatura y, el bajo nivel del caudal debido a la red de distribución de agua de la irrigación y la hora de registro, al respecto (Rivera *et al.*, 2009) indica que, la temperatura del agua tiene una relación directa con la conductividad eléctrica, favoreciendo la disolución de las sales incrementando su concentración. Los iones medidos mediante la conductividad eléctrica indican que existe un progresivo incremento desde el lugar de origen a la desembocadura, debido a la ganancia de sales durante el recorrido tanto por las aguas de drenaje como por el arrastre de las sales desde los terrenos aledaños (Torres y Acevedo, 2008). La salinidad del agua de riego influye en la salinidad de los suelos (Torres y Acevedo, 2008).

Por lo tanto los riegos frecuentes con aguas que contienen sales pueden salinizar los suelos y consecuentemente reducir la disponibilidad de agua para los cultivos; debido a la presencia de sales restando la capacidad de las plantas para absorber el agua, fenómeno conocido como potencial osmótico (García, 2012). De acuerdo a los valores obtenidos en ambos cursos con un contenido promedio de CE 0.331 mS/cm y STD 0.109 g/l. se le ubica en la clase C1 por consiguiente el agua es buena para riego de diferentes cultivos, advirtiendo que con el tiempo podría constituir un peligro de salinización de los suelos muy impermeables de difícil drenaje interno. Cuando el agua de riego tiene una salinidad muy baja con conductividad eléctrica menor a 200 mS/cm pueden originar dificultades en la capacidad de infiltración por la tendencia al lavado de las sales solubles del suelo, principalmente el calcio (Ayers y Westcot, 1985).

La alcalinidad del agua se debe a las concentraciones de iones carbonato ($\text{CO}_3^{=}$), bicarbonato (CO_3H^-), hidróxidos (OH^-), Ca Mg y Na. La (Figura 3).

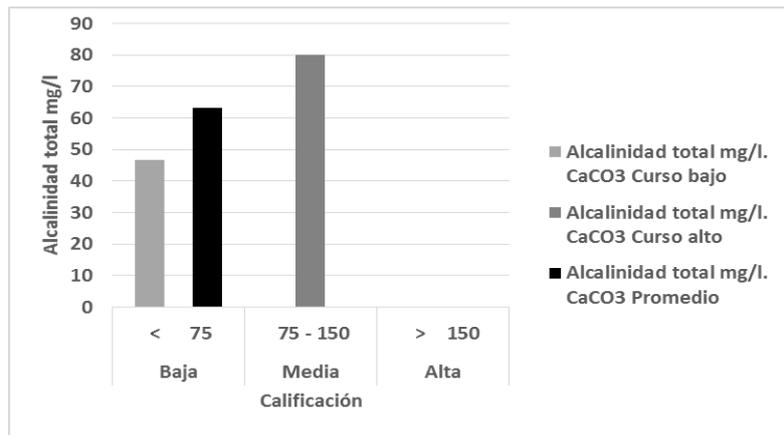


Figura 3. Calificación de la alcalinidad total por curso y promedio del agua de la Irrigación Canal N río Llallimayo

Presenta los resultados por curso siendo superior la concentración de carbonatos CaCO_3 en el curso alto 80 mg/l calificado en el rango medio. Cuando las aguas contienen concentraciones apreciables de bicarbonatos y se utilizan en el riego, una fracción variable de estos constituyentes precipita en el suelo como CaCO_3 (Can-chulim *et al.*, 2010). El curso bajo con 46,7 mg/l ubicado en el rango bajo y una concentración promedio de 63.33 mg/l. calificando como baja en carbonatos, niveles bajos de cationes calcio y magnesio en los suelos así como en las aguas de riego, podrían acidificar los suelos. (García, 2012b) manifiesta que la alcalinidad se debe al contenido de iones bicarbonatos, Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , y al regar con aguas que contienen bicarbonatos trae como consecuencia la acumulación de carbonatos en los estratos superficiales del suelo y como efecto su alcalinización, degradación de su fertilidad y productividad, siendo causantes los bicarbonatos y sus cationes acompañantes.

Este sistema se basa en la medida de la conductividad eléctrica del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo, y en el cálculo de la relación de adsorción de sodio (RAS) para determinar el riesgo de sodificación o alcalinización; la (Tabla 3)

Tabla 3. Clasificación del agua y riesgo de sodificación RAS del suelo por curso alto y bajo

Clasificación	RAS	R.A.S.		Riesgo de Sodificación
		C. A.	C. B.	
S1	< 3			Sin Riesgo
S2	3 - 9	8.29	8.04	Riesgo Moderado
S3	> 9			Alto Riesgo

por los resultados obtenidos determinan un riesgo moderado para ambos cursos del río Llallimayo con relación al agua de la represa Canal N, con valores de la RAS igual 8.29 en el curso alto y de 8.04 para el curso bajo; de acuerdo a la clasificación por el contenido de sodio los valores de la RAS del agua corresponde a la clase S2, advirtiendo peligro para suelos de textura fina o arcillosa con alta capacidad de intercambio catiónico, especialmente si la permeabilidad es baja, este tipo de aguas puede usarse en suelos de textura gruesa entre arenosa y franca u orgánicas con permeabilidad adecuada; la sodicidad es un indicador del grado de restricción de uso del agua, así como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del agua objeto de investigación ya que podría traer como consecuencia efectos adversos en la estructura del suelo, reduciendo la tasa de infiltración, formación de costras superficiales, deposición y migración de arcillas en el espacio poroso y esponjamiento de las arcillas. Al respecto, (Ariel, 2016)

expresa, el riesgo de sodificación en los suelos, especialmente en la capa superficial, por el riego con agua con concentraciones medias (750-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y altas (1500-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de Na^+ , propiciando con el tiempo un efecto adverso en los cultivos. (Bonet-Pérez *et al.*, 2011). Ya que el sodio, contrariamente, permanece en solución en las primeras capas del suelo, influyendo sobre la estabilidad de los agregados y la estructura del suelo. (García, 2012a) indica que, cuando el PSI esta entre el 15 y el 20 % crea fuerzas repulsivas entre los tactoides por la formación de capas difusas, predisponiendo su separación, cuando este supera el 25 PSI, nivel suficiente para propiciar el ingreso del sodio al interior desplazando al calcio, creando fuerzas repulsivas de signo positivo separando el tactoide en porciones pequeñas, y porcentajes cercanos al 50 % provocan la ruptura total. El riesgo de sodificación preponderante en los pozos es de nivel medio, de acuerdo a los contenidos de iones sodio en el agua para riego, pudiendo afectar la permeabilidad del suelo disminuyendo su capacidad de infiltración y afectar en lo posterior las actividades agrícolas (Azpilcueta *et al.*, 2017). Debido a que el Na^+ en el suelo, sustituye a los iones Ca_2 y Mg_2 , elementos que intervienen en la estructura del suelo, se endurece y se compacta reduciendo la capacidad de infiltración de agua y aire a través de los poros que lo conforman (Jarsun, 2008).

presenta la concentración de los cationes analizados (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+) en las aguas de la irrigación Canal N del río Llallimayo, calculando los valores promedio de las seis muestras el Na^+ y el K^+ (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración media de cationes aniones y nitritos del agua de la irrigación Canal N rio Llallimayo.

Cationes meq/l					Aniones meq/l					
Ca	Mg	K	Na	Total	Cloruros	Sulfuros	Carbonatos	Bicarbonatos	Total	Nitritos
1.84	3.76	10.83	13.63	30.06	2.28	1.05	T	0.06	3.39	0.64

Se encontraron en mayor concentración con valores de 13.63 y 10.83 meq/l, respectivamente; de acuerdo a los criterios de la FAO ambas concentraciones se encuentra en el rango moderado, mientras que el Mg^{+2} y el Ca^{+2} se presentan en concentraciones menores, con valores de 3.76 y 1.84 meq/l, respectivamente, encontrándose en el rango bajo sin riesgo; es sabido que, cuando las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++} disminuyen en relación al Na^+ la RAS se incrementa. Aguas de riego con baja salinidad (CE. por debajo de 200 mS/cm), generalmente originan problemas de infiltración debido al lavado de las sales solubles del suelo, especialmente el calcio (Ayers y Westcot, 1985). Respecto a la concentración de aniones se indica que: en cloruros es baja sin riesgo por encontrarse por debajo de 4 meq/l. lo mismo expresan las concentraciones encontradas en carbonatos de cero a trazas y, en bicarbonatos con valores por debajo de 1.5 meq/l. calificándola como aguas sin riesgo.

También se observa en las (Tablas 1 y 4) que la concentración promedio de nitratos de las seis muestras es de 39.78 mg/l o 0,66 meq /l, siendo mayores los niveles de NO_3^- en el curso bajo, probablemente por la disminución del caudal, por la distribución del agua a las diferentes parcelas, la temperatura, el enmohecimiento de las aguas e incorporación de material orgánico debido a las actividades agrícolas y pecuarias realizadas por los productores en la irrigación. (Rubio *et al.*, 2014) indica que: los factores ambientales, como las precipitaciones y la temperatura influyen en la variación de los parámetros, afectando de manera directa la calidad del agua especialmente en la temporada de lluvias, durante los meses de verano e invierno. Sin embargo los nitratos presentes en el agua, no se consideran restrictivos para uso agrícola debido a que el nitrógeno en cualquiera de sus formas, es transformado o absorbido por las plantas para cumplir sus procesos fisiológicos (Sarabia *et al.*, 2011). El Anión NO_3^- si bien constituye uno de los macronutrientes primarios indispensable para la nutrición de las plantas, los



excesos prolongan el periodo vegetativo de los cultivos, siendo beneficioso solo en los estados iniciales del crecimiento de las plantas, más no en el periodo de maduración. Ya que el exceso de nitratos en el agua de riego puede causar daños a los cultivos por estimular el crecimiento vegetativo en exceso prolongando la madurez disminuyendo su calidad (García, 2012b). Finalmente las aguas de menor calidad son las sódicas poco salinas, toxicidad amplía para evaluar la aptitud del agua, referente a la acción específica del sodio, cloro, boro, bicarbonato y nitrato (Ayers y Westcot, 1976)

Comparación de medias de los dos cursos de agua.

Calculados los promedios (\bar{x}) la desviación estándar (S^2) y el coeficiente de variabilidad (CV) se obtuvieron los siguientes resultados: para el curso bajo conductividad eléctrica $CV_{CE} = 20.37\%$, alcalinidad $CV_A = 24.74\%$, RAS $CV_R = 31.23\%$, SCR. $CV = 90.49\%$ y nitratos $CV_N = 37.75\%$; y para el curso alto $CV_{CE} = 22.89\%$, alcalinidad 66.14% , RAS 25.47% , SCR 68.69% y nitritos 48% respectivamente. Interpretando los resultados obtenidos se observa que, los valores más altos en CE y alcalinidad corresponden al curso alto, indicando un mayor grado de dispersión de las muestras con relación al valor promedio del curso, lo contrario sucede con la RAS y SCR, correspondiendo al curso bajo los valores más altos, por consiguiente un mayor grado de dispersión entre las muestras con relación a su valor central, algo similar sucede con los nitratos. Analizando lo expuesto se puede manifestar que: las aguas de ambos cursos presentan muchas perturbaciones, las que posteriormente podrían afectar a los suelos y consecuentemente el rendimiento de los cultivos, por la diferencia entre las concentraciones de los cationes y los aniones expresados en las (Tablas 1 y 4). Las aguas salinas en la agricultura perturban las características químicas de los suelos así como las elevadas concentraciones de sodio y cloro pueden provocar desórdenes nutricionales y toxicidad en las plantas (Centro de Investigación Regional del Noroeste, 2009). De acuerdo a las actividades agropecuarias realizadas por los productores, indican el desconocimiento de prácticas sostenibles, como la aplicación el riegos por inundación, uso indiscriminado de agroquímicos, pastoreo extensivo del ganado, falta de limpieza y mantenimiento de la represa y canales de distribución de agua, sumando las actividades mineras en la microcuenca del río Llallimayo proveedor natural de agua para la irrigación; ocasionando un impacto antrópico y natural causado por las precipitaciones y geología del relieve contiguo al río. Al respecto (Álvarez *et al.*, 2008) expresa que el incremento poblacional, las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, sumando las condiciones físicas y químicas de las áreas de terreno van deteriorando significativamente la calidad del agua dentro de la cuenca.

Calidad y Aptitud del agua de riego irrigación Canal N rio Llallimayo Cupi.

comparados los resultados con los parámetros establecidos por la FAO por la CE. 0.0331 mhos/cm. califica como aceptable, RAS 8.165 califica como dudosa, CSR (carbonato de sodio residual) que indica la peligrosidad del sodio producto de la reacción de los cationes calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato con un valor 2.17 califica como agua no recomendable, pH 7.87 aceptable (Tabla 5).

Tabla 5. Calidad y 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	< 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	> 2.00	Agua no recomendable



Cuando el valor del CSR es positivo, indica que el Ca y el Mg precipitan como carbonatos, existiendo solo sales de sodio en la solución; sin embargo, cuando los valores son negativos, el agua y solución del suelo son convenientes para uso agrícola (Gutiérrez *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos podrían conllevar gradualmente a clasificar los suelos como sódicos con una baja concentración de sales solubles, afectando su estructura, reduciendo su permeabilidad, capacidad de aireación fertilidad y consecuentemente su productividad.

De acuerdo a la calificación Riverside corresponde a C1S2 buenas para riego de diferentes cultivos advirtiendo peligro de salinización en suelos muy impermeables de difícil drenaje interno; relación de absorción del sodio (RAS) peligro de sodificación en suelos de textura fina con alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) especialmente con baja permeabilidad puede usarse en suelos de textura gruesa u orgánica con permeabilidad adecuada; (García, 2012) indica que, los riegos frecuentes con aguas que contienen sales pueden salinizar los suelos reduciendo la disponibilidad de agua para los cultivos; debido a la presencia de sales, restando la capacidad de las plantas para absorber el agua.

Por la RAS califica como agua utilizable para riego con precauciones, Tipo de agua semidura y carbonato sódico residual (S.C.R.) 2.17 agua no recomendable. Aplicando el Diagrama de clasificación del agua para riegos, basada en la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio (según Wilcox), los resultados promedio de los dos cursos y las seis muestras con valores de CE. 0.331 mS/cm equivalente a 331 μ S/cm y RAS 8.17, valores que se intersecan en la primera sección calificándola como agua de Excelente a buena; la acumulación de iones sodio en el complejo coloidal del suelo desestabilizan a los agregados provocando dispersión de las partículas de arcilla obstruyendo la porosidad alterando sus propiedades físicas (FAO, 1988).

CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo evaluar la calidad del agua, los resultados obtenidos producto del análisis fisicoquímico se concluye que: la conductividad eléctrica con 0.331 mS/cm, no significa peligro para la generalidad de los cultivos, clasificando en la clase C1 con salinidad baja por consiguiente buena para riego, en cuanto a la relación de absorción de sodio RAS, con un valor de 8.17 califica como agua utilizable para el riego con precauciones, ubicándola en la clase S2 (muy sódica), constituyendo peligro en suelos de textura fina con baja permeabilidad y alta capacidad de intercambio catiónico, con relación al carbonato de sodio residual, con un valor de 2.17 califica como agua no recomendable, puede utilizarse con restricción, por el tipo de agua es calificada como semidura. Referente a la concentración de cationes calcio, magnesio sodio y potasio en las aguas el Na^+ y el K^+ se encuentran en mayor concentración con valores de 13.63 y 10.83 meq/l respectivamente; de acuerdo a los criterios de la FAO ambas concentraciones están en el rango moderado, mientras que el Mg^{++} y el Ca^{++} se encuentran en concentraciones bajas, con valores de 3.76 y 1.84 meq/l sin riesgo; estas concentraciones bajas de Ca^{++} y Mg^{++} en relación al Na^+ Incrementan la RAS. Respecto a la concentración de aniones, en cloruros es baja sin riesgo con un valor por debajo de 4 meq/l. y las concentraciones en carbonatos de cero a trazas y, en bicarbonatos con valores por debajo 1.5 meq/l la califican como aguas sin riesgo. La concentración de nitratos con 39.78 mg/l, no se consideran restrictivos para los suelos ni cultivos.

En cuanto a la aptitud o idoneidad, las aguas según las normas Riverside, tipos, calidad diagnóstico y recomendaciones (Normas de L.V. Wilcox, Diagrama), califican al agua de la irrigación Canal N del río Llallimayo del distrito de Cupi de excelente a buena, aptas para el riego de cultivos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada San Carlos de Puno por subsidiar la investigación.
A la Unidad de Investigación y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

LITERATURA CITADA

- Álvarez, A., Panta, R., Ayala, R., y Acosta, H. (2008). *Calidad integral del agua superficial en la cuenca hidrológica del Río Amajac. Información Tecnológica* (Vol. 19). <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3975it.07>
- Aragón Graneros, L., y 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. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fuentes_agua_superficial_ramis_0.pdf
- Ariel, J., Manuel, H., Diego, J. y Irán, J. (2016). Calidad del agua para riego agrícola del sistema hidrográfico Lerma-Chapala-Santiago. *Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, México. C.P. 63155. "Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco km 36.5. C.P. 56230., 21-34.*
- Avilés, H. (2016). El valor del agua en la agricultura. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida - Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*, (5), 28-31. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047389006>
- Ayers, S., & Westcot, W. (1976). *Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1. FAO Irrigation and Drainage Paper* (Vol. No.29). [https://doi.org/ISBN 92-5-102263-1](https://doi.org/ISBN%2092-5-102263-1)
- Azpilcueta Pérez, M. E., Pedroza Sandoval, A., & 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 Contaminación Ambiental*, 33(1), 75-83. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.07>
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E. y Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *Insect Science and its Application*, 22(1).
- 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. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193228546011.pdf>
- 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.
- Caravantes, E., Bravo Peña, C., Alatorre, C., Sanchez, E. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México : una aproximación geográfica Anthropogenic pressure on groundwater in Mexico : a geographical approach. *Investigaciones Geográficas*, 82(54), 93-103. <https://doi.org/0188-4611>
- Centro de Investigación Regional del Noroeste. (2009). Correlación Entre Indicadores De La Calidad Del Agua Para Uso Agrícola. *Campo Experimental Valle del Yaqui Cd. Obregón, Sonora, México*, 66, 1-36.
- 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>
- FAO. (2013). *The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organisation of the United.*
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Central Soil Salinidad Research Institute, Karnal, I., y Boletín suelos 39. (1988). Suelos afectados por sal y su manejo. Roma.
- 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. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6 Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- García, Á. (2012b). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Segunda parte). *International Union of Soil Sciences*, 7 Setiembre, 26-34. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6 Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Gomez, M. L. (2009). Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la Provincia de Córdoba ,

- Argentina. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 45, 38-43. Recuperado de http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista45/Articulo_6.pdf
- Guadarrama, E. y Galvan fernández, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias Issn 2007-9990*, 4(7), 23.
- Gutiérrez Guevara, D. R., Olguín López, L. J. y Barreto, A. (2016). *Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco Quality water for irrigation and agricultural land in Tuxcacuesco, Jalisco*. (IDESIA, Ed.). Chile. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035.52>
- INEI-PERU. (2015). Perú : Anuario de Estadísticas Ambientales 2014, 574.
- Jarsun, R. (2008). Manual de uso e interpretación de aguas, 49.
- Olías, C. y I. F. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 37, 111-113.
- Palacios, A. (2016, abril 2). Grave contaminación en nuestros rios. *Contaminación de Recursos hídricos*, p. 1. Recuperado de <http://www.planteamientosperu.com>
- Rattalino, D. L. (2017). Determinación de los índices de calidad de agua del acuífero del valle Antinaco – los Colorados utilizada para riego superficial y su influencia en los suelos de diferentes fincas de CHilecito, la Rioja Marzo, 2014 Requerimiento de Tesina presentado ante, (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1437.2721/1>
- Rebour H. y Deloye, M. (1971). *El Riego (2º)*. Madrid España: Ediciones Mundi - Prensa.
- Rivera, N. R., Encina, F., Palma, R. y Mejias, P. (2009). *La Calidad de las Aguas en el Curso Superior y Medio Superior and Medium Water Quality in Traiguén River. IX Región-Chile. Información Tecnológica* (Vol. 20). <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3920it.07>
- 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. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200790282014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*, 6ª. (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, Ed.) (6ª edición). México 2356789014.
- Sarabia, Meléndez, F., Cisneros, Almazán, R., Aceves de alba, J., Durán, H. y Castro Larragoita, J. (2011). *Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (Vol. 27). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37019853002>
- Sosa, Olga M., Currie, Héctor M., Bartra Vásquez, L. y Caseres, S. L. (2009). Diagnóstico físico químico de la calidad del agua de riego en el Chaco Húmedo, 19.
- Torres A. y Acevedo, E. (2008). *El problema de la salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile*. (IDESIA, Ed.). Chile.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones Basadas En La Naturaleza Para La Gestión Del Agua*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- WWAP (World Water Assessment Programme). (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk. UN Water Reports* (Vol. 1). Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>