

Determinación de las características Físico Químicas y Microbiológicas de las Aguas de las principales fuentes de consumo en la Región Puno

Determination of the Physic- Chemical and Microbiological characteristics in Waters of the main sources of consumption in Puno Region

José Luis Pineda Tapia

jpineda@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca

Dany Coaquira Mamani

coaquira.dany@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

Lisbeth Carina Coaquira Huacani

lisbethcarina2010@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

Diego Wilman De La Cruz Paredes

delacruzpdw@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

Maribel Jara Mamani

501.maribel.mamani@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

Resumen

En este artículo se reporta los resultados de la determinación microbiológica, físico química y de metales (Ca, K, Fe, Mn, Mg), en muestras de aguas tomadas en 24 puntos de captación para abastecimiento de las principales provincias de la región Puno, para lo cual se definió una red de monitoreo, tomando como base la limitación política y el posicionamiento global, se midieron 16 parámetros, observándose que los parámetros de campo como temperatura, oxígeno disuelto y pH, están en un rango de (5.30-20.50) °C, (2.43 – 8.06) mg/L, (6.37 – 8.75) pH respectivamente. Por otro lado en cuanto a la conductividad el 16% de las muestras superan los ECAs, llegando a picos superiores de 1538 $\mu\text{S/cm}$ en el distrito de Puno (PP-01), con un máximo de 1858.7 $\mu\text{S/cm}$ en Yunguyo (YY-01) y el mínimo en Sandía (SS-01) con 20.9 $\mu\text{S/cm}$. La turbidez máxima, se registró en la ciudad de Juliaca, 54.70 UNT, otros parámetros como NO_3^{2-} no exceden los LMP, en la región. La presencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales se registró en los puntos SS-01 (Sandía) y SJ (Juliaca). Las concentraciones de Ca en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasan los 60 mg/L; mientras que las aguas de Juli, Puno 02, Juliaca, Moho y Sandía están por debajo de 20 mg/L. Así mismo el Mg presenta concentraciones superiores a los 30 mg/L en Yunguyo 01 y Puno 01, en tanto que en Moho, Juli y Sandía, no sobrepasan los 3 mg/L, la muestra de llave 02 sobrepasa los 0.4 mg/L (valor establecido); mientras tanto, muestras como las de Macusani, Putina y Sandía están bajo los límites de detección del equipo. En cuanto a Fe, las muestras de llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca y Lampa sobrepasan los 0.3 mg/L, concentración que está dentro de los ECA y límites de la OMS. Por otro lado, la muestra de Ayaviri 01 presenta concentraciones mínimas (< límites de detección equipo). En este artículo se reporta y discute todos los parámetros determinados en estas captaciones.

Palabras claves: *Análisis de agua, fisicoquímicas, microbiológicas, metales, espectroscopia de absorción atómica.*

Abstract

This article reports the results of the microbiological, chemical, physical and metal determination (Ca, K, Fe, Mn, Mg), in water samples taken from 24 collecting points to supply the main provinces in Puno region, for which a monitoring network has been defined. Based on political limitation and global positioning, 16 parameters have been measured, observing that the field parameters such as temperature, dissolved oxygen and pH, are in a range of (5.30-20.50) ° C, (2.43 - 8.06) mg / L, (6.37 - 8.75) pH respectively. On the other hand, in terms of conductivity, 16% of the samples exceed the RCTs, reaching peaks higher than 1538 $\mu\text{S} / \text{cm}$ in the district of Puno (PP-01); with a maximum of 1858.7 $\mu\text{S} / \text{cm}$ in Yunguyo (YY-01), and the minimum in Sandia (SS-01) with 20.9 $\mu\text{S} / \text{cm}$. The maximum turbidity was recorded in the city of Juliaca, 54.70 UNT, other parameters such as NO₃⁻ do not exceed the LMP, in the region. The presence of Total Coliforms and Fecal Coliforms was recorded at points SS-01 (Sandia) and SJ (Juliaca). The concentrations of Ca in Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani and Putina 01 exceed 60 mg / L; while the waters of Juli, Puno 02, Juliaca, Moho and Sandia are below 20 mg / L. Likewise, Mg has concentrations higher than 30 mg / L in Yunguyo 01 and Puno 01, while in Moho, Juli and Sandia, they do not exceed 3 mg / L, the llave 02 sample exceeds 0.4 mg / L (set value); Meanwhile, samples such as those in Macusani, Putina and Sandia are below the detection limits of the equipment. As for Fe, the samples in llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca and Lampa exceed 0.3 mg / L, concentration that is within the RCTs and limits of the WHO. On the other hand, the sample in Ayaviri 01 has minimal concentrations (<detection limits equipment). This article reports and discusses all the parameters determined in these catchments.

Keywords: *Water analysis, physicochemical, microbiological, metals, atomic absorption spectroscopy.*

Introducción

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible (Ley N°29338), su disponibilidad ha sido el factor más crítico para la supervivencia durante el desarrollo de toda forma viva en el planeta (Signor y Ashbolt, 2009). Si bien la superficie de nuestro planeta en su mayor parte es agua, pero solo un 3% de ella es dulce, la cual se encuentra en su mayor parte en la forma de casquetes de hielo y glaciares, y solo una mínima parte en agua superficial fácilmente accesible, en los ríos, lagos y subterránea (Hopkins, 1998).

Las características físicas, químicas y biológicas del agua determinan su calidad, tales características pueden ser modificadas por procesos naturales o antrópicos (Lima y Mazari). Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural –MON–) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres, Cruz y Patiño, 2009). Otra de principales fuentes que suministran agua para consumo humano son los acuíferos, los cuales son formaciones geológicas que almacenan agua y actúan como depósito y reserva (Price 2007), la calidad del agua subterránea es una de las menos estudiadas; específicamente se conoce poco de los aspectos microbiológicos de la contaminación que ocurre en este ambiente en comparación con las aguas superficiales, principalmente debido a la creencia de que este tipo de agua es esencialmente limpia por la acción filtrante

del medio poroso por el cual pasa el agua (Gerba y Bitton 1984, Zoller 1994).

La calidad del agua es un indicador confiable para determinar la salud de la población, porque cuando las aguas servidas son dispuestas en ríos, lagunas y quebradas, afectan su composición y la contaminación microbiana que ésta contiene es ingerida por las personas causando brotes epidemiológicos de enfermedades gastrointestinales, si no es tratada con rigor (Agudelo, 2005). En la mayoría de países en desarrollo, el riesgo microbiológico es bastante marcado, principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, lo que se ratifica en la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo que afirma que aproximadamente 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en estos países tienen por causa el consumo de agua contaminada y hasta una décima parte del tiempo productivo de las personas se dedica a enfermedades relacionadas con agua (OPS/CEPIS, 2002). Según la Organización Mundial de la Salud, 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales se asocian con una tercera parte de las defunciones causadas por el uso y consumo de agua insalubre. La Organización también reconoce que sólo 41% de la población mundial consume agua purificada y desinfectada para ser considerada "segura" (Higuera et al., 2000). Las enfermedades transmitidas por el agua son de distribución mundial, causantes de epidemias tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo. Son una de las principales razones de los 4 mil millones de casos de diarrea, que causan anualmente 1,6 millones de muertes en el mundo. Como agravante es responsable del 21% de muertes en niños menores de cinco años de edad (Neira-Munoz E, Okoro C, McCarthy ND; 2007).

En la "Reunión Internacional sobre la Calidad del Agua", realizada en Lima-Perú, en 1996, en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (OPS/CEPIS), una de las recomendaciones fue que los países de la Región desarrollaran

programas de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.

Fundamento

La vigilancia y control del agua para consumo humano está definida como la "evaluación y examen, de forma continua y vigilante, desde el punto de vista de la Salud Pública, de la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo" (OMS, 2011). Frente a esta situación, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano en las principales provincias de la región de Puno y su relación con la presentación de enfermedades digestivas agudas, empleando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para a posteriori contrastar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas (ECA's) de marcados por la legislación peruana.

Normativa y estándares del agua

Mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, el Ministerio del Ambiente (MINAM), en coordinación con todos los sectores gubernamentales, aprobó los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA de Agua); así como las disposiciones para su aplicación. Desde la Ley de Aguas (Decreto Ley N° 17752 de 1969) y luego con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338 del año 2009); se señala que los ECA de Agua deben fijarse en función a las categorías determinadas en relación al uso que se le va a dar al cuerpo natural de agua.

El monitoreo de calidad del agua en cuerpos naturales se ha venido realizando en el país por requerimiento de las autoridades ambientales sectoriales del Estado. Por esa razón las instituciones públicas han venido monitoreando con fines diversos la calidad de los cuerpos de aguas naturales y los efluentes a través de diversos criterios y metodologías establecidas en los protocolos de monitoreo de la calidad de agua.

Para regular la calidad del agua nace dentro del marco de ordenamiento de la gestión ambiental del país, uno de los aspectos principales es el establecimiento de Estándares de Calidad Ambiental de acuerdo a las exigencias y orientaciones ambientales actuales, la que se sustenta en el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles aprobado mediante Decreto Supremo N° 04498-PCM, promulgado el 11 de noviembre de 1998. Este documento establece la conformación del Grupo de Estudio Técnico Ambiental de Agua – GESTA AGUA Integrado por representantes de las instituciones de los sectores público y privado; quienes tienen el encargo de realizar el estudio y elaborar el anteproyecto de Estándares de Calidad Ambiental de Agua.

La estrategia de implementación de los Estándares de Calidad Ambiental, para el caso de los recursos hídricos (ECA-AGUA), se sustenta en la normativa nacional.

El GESTA AGUA, fue instalado en la primera sesión efectuada el 16 de Junio de 1999, en cumplimiento de la Resolución Presidencial N° 25-99-CONAM. El grupo tenía como misión de proponer los valores, metodologías de muestreo y análisis, así como la lista de sustancias prioritarias a ser controladas, las estrategias de gestión a seguir para su implementación y cumplimiento, y el plan de acción a largo plazo.

Materiales y Métodos

Campo

Previa planificación se realizó la validación in-situ de los puntos de monitoreo, con apoyo del personal encargado de la captación de agua considerando la zona de muestreo, los lugares de acceso correspondientes y la codificación correspondiente en cada provincia de acuerdo al protocolo nacional para el monitoreo (ANA, 2016).

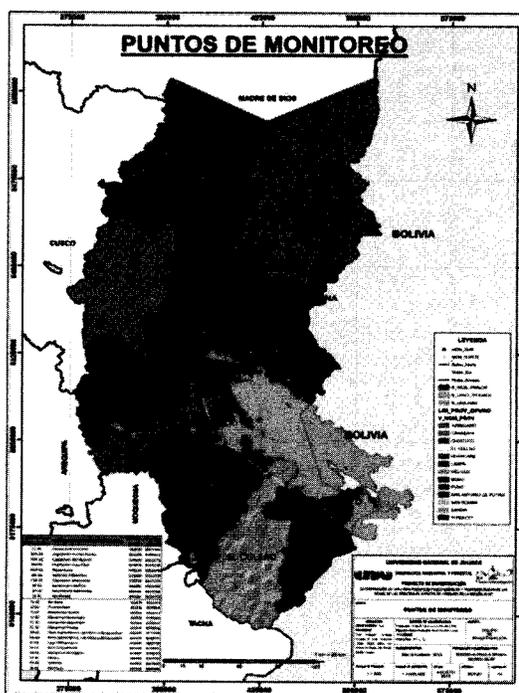


Figura 1. Puntos de Muestreo de la zona sur y norte
Nota. Elaboración propia.

Se realizó la identificación del punto mediante el sistema de posicionamiento global (GPS-MAP 64S GARMIN de procedencia americana) en coordenadas universal transversal de mercator (UTM), estableciéndose una red de 24 puntos de monitoreo en las trece provincias y algunas ciudades principales, 10 al norte y 14 al sur de la región de Puno; teniendo puntos de monitoreo como: fuentes de captación (ríos, riachuelos, manantiales y galerías filtrantes), reservorios y puntos de referencia (consumo de la población), como se muestra en la figura 1.

La toma de muestra se realizó mediante un muestreo manual simple o puntual, cuyo volumen de muestra fue de 1000mL para los parámetros fisicoquímicos, 1000mL en para los parámetros microbiológicos y 500mL para la determinación de metales pesados;

considerando el etiquetado y la cadena de custodia, las muestras mantenidas a ($5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) se trasladaron en un cooler a los laboratorios de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca. Se consideró frascos de plástico para la determinación de parámetros fisicoquímicos y metales, así como frascos de vidrio previamente esterilizados para la determinación de parámetros microbiológicos. Las muestras para la determinación de 5 metales fueron tratadas con Ácido Nítrico al 37% procedencia Merk para su preservación como sugiere en métodos estandarizados: 1060 C. según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

Análisis Microbiológico

Primeramente, se prepararon los medios de cultivo: el caldo m FC, para lo cual se suspendiendo 37.1 g del agar en 1 L de agua destilada añadiendo 10 mL de Ácido Rosólico al 1% en una solución de Sodio Hidróxido 0.2 N, luego se calentó y agitó hasta ebullición y posteriormente se vertió en las placas de Petri. Por otro lado el caldo m Endo se preparó mediante la suspensión de 36 g del agar en 1 L de agua destilada que contenía 4 mL de etanol al 96% y se hirvió hasta disolución total. Colocando al final en las placas de Petri.

Las muestras de agua fueron transportadas al laboratorio y analizadas dentro de las 3 – 6 horas. Para todas las muestras, 100 mL fueron filtrados a través de membranas de nitrocelulosa de $45\ \mu\text{m}$ de diámetro utilizando una unidad de filtración de membrana y una bomba de vacío. Estas membranas se colocaron asépticamente en placas de Petri que contenían los medios selectivos mencionados anteriormente, tales como caldo m FC y caldo m Endo. Las placas se incubaron a 35°C , excepto el agar m FC que se incubaron a 45°C durante 24 horas. Se enumeraron colonias azules de agar m FC (presuntos coliformes), colonias de brillo metálico de agar m Endo (presuntos CT). Los resultados para CF y CT se expresaron como número de unidades formadoras de colonias por 100 mL de agua (Mulamattathil, Bezuidenhout, & Mbewe, 2015)

Análisis físico químico

El pH, la temperatura y el oxígeno disuelto se midieron in situ utilizando instrumentos estándar (potenciómetro Hanna INSTRUMENTS HI 98190, Medidor de Oxígeno Disuelto Extech instruments ExStik DO 600) (Yasin, Ketema, & Bacha, 2015), mientras que otros parámetros fisicoquímicos como: la turbidez y la conductividad eléctrica fueron medidos en el laboratorio mediante un Turbidímetro LOVIBOND TB 210 IR y un Conductímetro SI-analytics LAB 945 como se sugiere en métodos estandarizados 2130 B y 2510 B; mientras que los sólidos totales (ST), los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos disueltos totales (TDS) fueron determinados según los métodos normalizados de APHA (2540 B, 2540 D y 2540 C). Por último la concentración de nitrato se midió en el laboratorio mediante un Espectrofotómetro UV/visible de doble haz SQ-4802 según lo dice el método normalizado 4500 de APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

Determinación de Metales

Previamente se prepararon y se halló la absorbancia de cuatro concentraciones conocidas del metal muy diluidos a partir de las soluciones patrón¹ en agua con una matriz similar a la de la muestra y adicionalmente un blanco que consistía en agua ultra pura, estas soluciones horquillaban la concentración de muestra esperada y estaban dentro del intervalo de trabajo del equipo, con estos datos se generó una curva de calibración.

Luego las muestras de agua se analizaron para detectar la presencia de metales utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica de técnica de Flama novAA 400 p de la marca Analytic Jena de procedencia alemana. con llama de aire-óxido nítrico para calcio y llama de aire-acetileno para manganeso, magnesio, potasio y hierro; tal como lo sugieren los métodos estandarizados 3111 D y 3111 B respectivamente según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

-
- Estándar de Calcio (1000 mg / L) para absorción atómica: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en HNO_3 al 0.5 mol / L
 - Estándar de Magnesio (1000 mg / L) para absorción atómica: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ en HNO_3 al 0.5 mol / L
 - Estándar de Manganeso (1000 mg / L) para absorción atómica: $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ en HNO_3 al 0.5 mol / L
 - Estándar de Hierro (1000 mg / L) para absorción atómica: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ en HNO_3 al 2%
 - Estándar de Potasio (1000 mg / L) para absorción atómica: KNO_3 en HNO_3 al 0.5 mol / L

Resultados y discusión

La red de monitoreo para el muestreo y análisis correspondiente comprende 24 puntos, como se indica en la Tabla 1, considerando el código de monitoreo, la descripción, ubicación política y finalmente la ubicación de acuerdo al sistema de posicionamiento global, en la zona 19 sur.

Tabla 1.
Red de monitoreo para el análisis de agua

CODIGO DE MONITOREO	DESCRIPCIÓN ORIGEN/ UBICACIÓN	DISTRITO	PROVINCIA	COORD _ESTE	COORD _NORTE
CI-01	Río llave	llave	El Collao	432479	8221521
CI-02	Puente llave			432236	8220854
CI-03	Reservorio Nuevo			431054	8219731
CJ-01	Manantial Hancohake	Juli	Chucuito	448533	8199163
CJ-02	Manantial Nayrahake			452506	8206382
CJ-03	Manantial Piluma			451575	8206933
CD-01	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero	Desaguadero	Chucuito	493465	8171266
CD-02	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero			495675	8169359
YY-01	Lago Wiñaymarca	Yunguyo	Yunguyo	491047	8202700
YY-02	Río Choquechaca			487160	8198584
YY-03	Manantial Humajaslo			487197	8198597
PP-01	Chimu	Puno	Puno	396995	8247276
PP-02	Totorani			381203	8251868
SJ-01	Río Coata	Juliaca	San Roman	381320	8289695
LL-01	Cámara de reunión	Lampa	Lampa	352633	8301066
MA-01	Captación Punko Punko	Ayaviri	Melgar	331266	8358911
MA-02	Captación Río Ayaviri			328356	8353073
HH-01	Captación Cuyuraya	Huancané	Huancané	416803	8326136
MM-01	Reservorio	Moho	Moho	446313	8302246
AA-01	Galerías Filtrantes	Azángaro	Azángaro	372086	8352318
CM-01	Captación Manantial	Macusani	Carabaya	350798	8435579
SP-01	Reservorio Peñon	Putina	San Antonio de Putina	406063	8351088
SP-02	Reservorio Bellavista			406063	8351088
SS-01	Quebrada	Sandia	Sandia	449282	8416722

Nota. Elaboración propia a partir de los viajes de validación con ayuda de sistema de posicionamiento global (GPS)

Los resultados después del análisis de media para los 16 parámetros analizados tanto en campo y laboratorio, de acuerdo a la red de monitoreo correspondiente a la investigación, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.
Resultados generales de los parámetros analizados

COD_CAM	T (°C)	OD (mg/L)	pH	Turb (UNT)	Cond (µS/cm)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	CT (UFC/100mL)	CF (UFC/100mL)	NIT (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)
CI-01	14.30	5.40	6.44	1.98	429.00	366.67	17.87	380.00	107.33	71.33	0.57	29.32	6.14	0.15	0.52	4.84
CI-02	13.50	4.37	6.80	0.36	630.33	306.67	18.53	320.00	1.00	0.33	0.43	51.55	7.57	0.48	0.48	5.77
CI-03	15.50	5.97	6.82	1.32	515.67	281.67	25.97	306.67	9.00	0.33	0.88	44.76	7.76	0.09	0.46	6.25
CJ-01	11.60	6.37	6.56	0.17	131.70	115.00	14.97	133.33	1.33	0.33	0.24	11.39	1.37	0.04	0.42	4.26
CJ-02	14.10	6.84	6.50	0.44	46.33	71.67	50.53	118.33	28.67	9.00	0.32	4.40	0.33	0.07	0.45	1.24
CJ-03	13.00	6.22	6.57	3.15	44.93	43.33	8.77	51.67	4.67	0.67	0.41	2.61	0.23	0.13	0.50	1.06
CD-01	16.12	5.77	6.40	0.75	693.33	470.00	25.10	506.67	0.67	0.00	1.88	68.46	4.52	0.11	0.18	6.95
CD-02	15.90	5.25	6.70	0.47	693.67	853.33	26.40	876.67	10.67	1.00	2.82	121.17	4.04	0.03	0.11	1.04
YY-01	19.00	5.56	7.24	0.66	1858.67	1090.00	21.50	1130.00	0.67	0.00	0.65	73.54	39.38	0.03	0.19	18.15
YY-02	18.80	4.90	6.94	1.24	41.70	53.33	29.87	90.00	10.00	5.33	1.86	32.31	1.01	0.04	0.55	2.27
YY-03	12.10	5.63	6.70	0.33	50.07	70.00	1.47	100.00	0.00	0.00	0.90	36.42	0.35	0.02	0.06	4.80
PP-01	15.70	4.64	6.83	5.71	1538.33	900.00	17.97	936.67	4.00	1.67	0.34	43.61	34.51	0.03	0.24	12.93
PP-02	15.00	8.06	8.75	2.41	76.63	53.33	11.60	90.00	74.00	28.00	1.33	9.63	3.14	0.01	0.58	2.21
SJ-01	13.60	4.85	7.14	54.70	177.13	103.33	66.77	143.33	143.00	111.67	1.17	15.90	2.47	0.14	0.40	2.63
LL-01	11.55	2.43	6.59	0.86	157.37	53.33	33.33	86.67	0.00	0.00	0.18	34.21	3.00	0.07	0.32	2.99
MA-01	5.30	4.77	6.43	0.29	173.27	90.00	20.00	100.00	81.33	36.00	0.02	34.37	10.82	0.08	0.00	0.93
MA-02	7.75	2.94	6.79	2.49	734.33	463.33	40.00	530.00	116.00	47.67	1.53	144.08	14.83	0.22	0.25	6.16
HH-01	20.50	5.15	7.56	0.80	190.87	133.33	10.00	110.00	3.00	0.00	0.64	36.60	5.98	0.01	0.07	3.78
MM-01	13.10	3.49	6.23	0.15	47.80	30.00	25.00	56.67	2.33	0.00	0.18	11.24	2.11	0.07	0.11	2.70
AA-01	13.00	2.60	7.42	0.47	662.33	430.00	23.33	396.67	0.33	0.33	0.12	83.34	14.07	0.06	0.28	5.81
CM-01	15.20	4.05	7.61	0.33	303.00	156.67	0.00	153.33	1.00	0.00	0.29	72.02	16.98	0.00	0.11	1.11
SP-01	11.20	3.68	7.17	1.80	558.00	380.00	16.67	390.00	112.00	0.00	0.27	118.13	14.56	0.00	0.14	1.61
SP-02	12.30	4.49	7.58	0.42	49.83	56.67	20.00	80.00	0.00	0.00	0.40	9.16	0.97	0.00	0.13	1.56
SS-01	12.30	4.54	6.89	0.28	20.93	36.67	26.67	40.00	160.33	3.00	0.09	3.72	0.58	0.00	0.18	0.17

Nota. Elaboración propia, a partir de resultados de análisis de media.

* COD_CAM: código de campo, T: temperatura, OD: oxígeno disuelto, pH: potencial de hidrogeniones, Turb: turbiedad, Cond: conductividad, SDT: sólidos disueltos totales, SST: sólidos suspendidos totales, CT: coliformes totales, CF: coliformes fecales, NIT: nitratos, Ca: calcio total, Mg: magnesio total, Mn: manganeso total, Fe: hierro total, K: potasio total

Análisis de resultados

Parámetros analizados en campo

Como se observa en los Figura 2, los parámetros de campo como temperatura, oxígeno disuelto y pH, como datos referenciales en la investigación, están en un rango de (5.30-20.50) °C, (2.43 – 8.06) mg/L, (6.37 – 8.75) pH respectivamente.

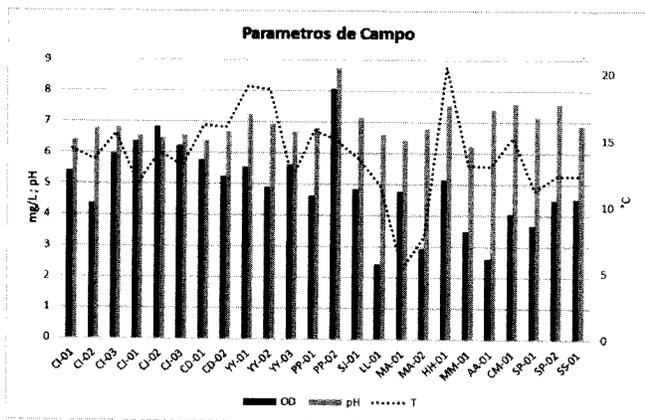


Figura 2. Resultados de parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto y pH para todas las provincias monitoreadas.

Parámetros Fisicoquímicos

Como se observa en la Figura 3, se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental según la normativa peruana (1000 µS/cm) en el 16 % de las muestras analizadas, llegando a picos superiores de 1538 µS/cm en el distrito de Puno (PP-01), como valor máximo registrado se encuentra Yunguyo (YY-01) con un pico de 1858.7 µS/cm y el mínimo valor registrado se encuentra en Sandia (SS-01) con 20.9 µS/cm.

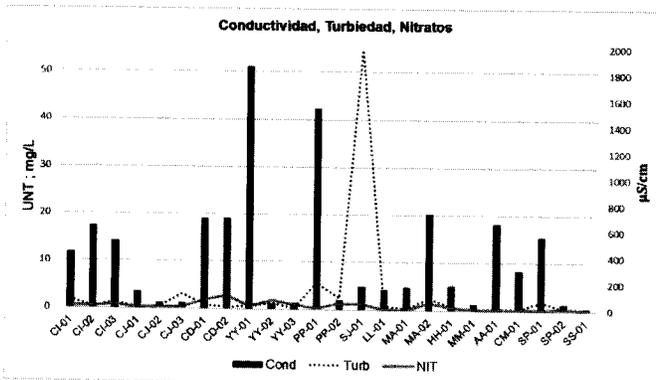


Figura 3. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: conductividad, turbiedad y nitratos.

En un 84 % de las mismas muestras analizadas se encuentran dentro del valor recomendado por la normativa. Como también la mayor concentración de turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) se encuentra en la ciudad de Juliaca, alcanzando 54.70 UNT. Según los DS-N°004-2017-MINAM (Estándares de Calidad de Agua) y DS-N°031-2010-SA (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano), para el parámetro de Nitratos la concentración Máxima de este no debe exceder de 50 mg/L, según los resultados obtenidos de los puntos de muestreo

evaluados, se observa que los valores no exceden a los límites establecidos, así mismo cabe mencionar que el valor mínimo de concentración de Nitratos se encuentra en MA-01 (Ayaviri) con 0.020 mg/L y el valor máximo de concentración obtenido es en CD-02 (Desaguadero) con 2.817 mg/L.

En la Figura 4., para Sólidos Disueltos Totales, en la grafica se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental según la normativa peruana (1000 mg/L) llegando a un pico de 1090 mg/L en los puntos de captacion de Yunguyo (YY-01), como segundo valor máximo se encuentra el distrito de Puno con un pico de 900 mg/L y como mínimo valor registrado se encuentra en el punto de captacion de Moho (MM-02) con 20 mg/L. valores que se encuentran dentro de lo recomendado por la normativa nacional. Para Sólidos Totales se obtuvo como valor máximo 1130 mg/L en el distrito de Yunguyo (YY-01), seguido del punto de captacion de Puno (PP-01) con un valor de 936.67 mg/L y para el caso de Sólidos Suspendidos Totales se obtuvo como valor máximo 66.77 mg/L esto en el punto de captacion de Seda Julica (SJ -01) seguido por el punto de captacion de Juli (CJ-02) con un valor de 50.53 mg/L. Cabe mencionar que dentro de la normatividad nacional estos parámetros no están contemplados, así mismo no se encuentran en normativas internacionales.

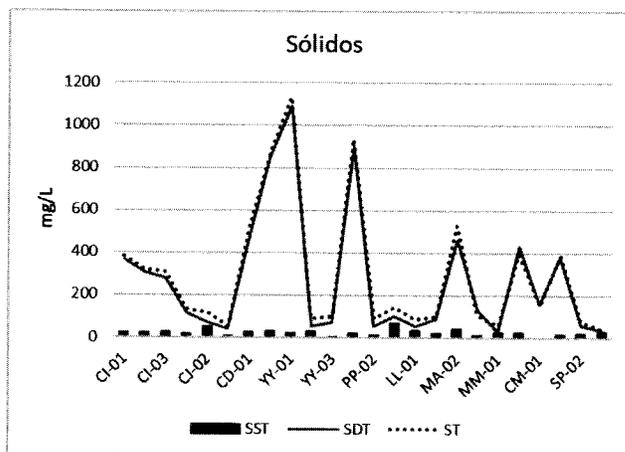


Figura 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos: sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos totales.

Parámetros microbiológicos

Según los DS-N°004-2017-MINAM (Estándares de Calidad de Agua), DS-N°031-2010-SA (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y otras normativas internacionales, para los parámetros de Coliformes Totales y Coliformes Fecales es 0 UFC/100 mL, basándonos en estos valores la mayoría de los puntos evaluados sobrepasan los límites establecidos habiendo excepciones de los puntos YY-03, LL-01, AA-01, SP-02. Así mismo los valores máximos en Coliformes Totales, se encontraron en los puntos SS-01 (Sandia) y SJ (Juliaca) y para Coliformes Fecales se encontró en el punto SJ (Juliaca).

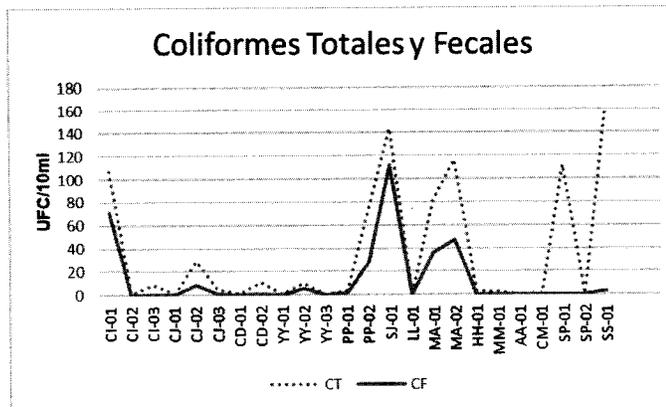


Figura 5. Resultados de parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.

Determinación de Metales

Como se observa en la Figura 6 las mayores concentraciones de calcio se encontraron en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasando los 60 mg/L (llegando a 144 mg/L en Ayaviri 02); mientras que por otro las aguas de Juli, Puno 02, Juliaca, Moho y Sandia están por debajo de los 20 mg/L.

Las concentraciones de Magnesio en la que esta vez las muestras de Yunguyo 01 y Puno 01 tienen las concentraciones más altas de este metal llegando a pasar los 30 mg/L, siendo la concentración de Mg en Yunguyo un total de 39.38 mg/L. Las concentraciones más bajas se encontraron en Juli, Yunguyo 02 y 03, Moho y Sandia; las cuales no sobrepasan los 3 mg/L, destacando la muestra tomada en Juli 03 con 0.227 mg/L. Dentro de la normatividad nacional el parámetro de potasio (K) no está contemplado, así mismo no se encuentra en muchas otras normativas internacionales, pero se encontró una normativa "RD 1138/1990", donde si está este parámetro, pero que actualmente está derogado, dentro de esta legislación Española se observa en la Fig. 5 que la concentración máxima admisible es de 12 mg/L, basándonos en esta con los resultados obtenidos se observa que los puntos PP-01(Puno) y YY-01 (Yunguyo) sobrepasan el límite de concentración con valores de 12.933 mg/L y 18.146 mg/L respectivamente, así mismo el mínimo valor obtenido es del punto SS-01 (Sandia) con una concentración de 0.173 mg/L. Los resultados de Manganeso mostrados en la Figura, muestran que solo una muestra, la de llave 02 sobrepasa los 0.4 mg/L que es el valor establecido en los Estándares de Calidad Ambiental y límites de la OMS; mientras tanto muestras como las de Macusani, Putina y Sandia están bajo los límites de detección del equipo. En cuanto a Hierro, los resultados se pueden observar en la figura siendo que las muestras de llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca y Lampa sobrepasan los 0.3 mg/L, concentración que está dentro de los Estándares de Calidad Ambiental y límites de la OMS. Por otro lado, la muestra de Ayaviri 01 tiene concentraciones menores a los límites de detección del equipo.

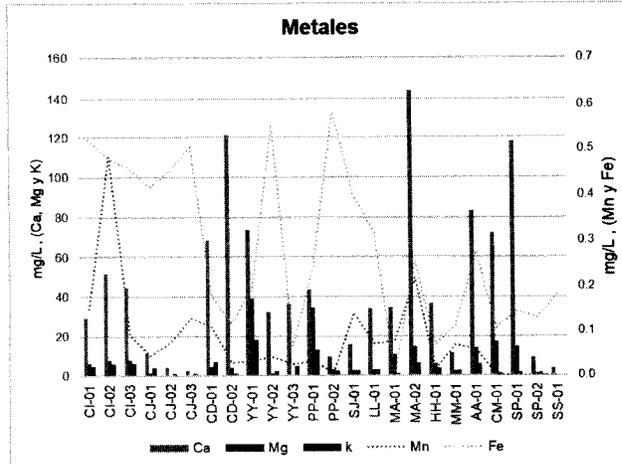


Figura 6. Resultados de parámetros metales: calcio, magnesio, potasio, manganeso y hierro.

Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos en la investigación (Figura 7) se puede identificar que existe una correlación significativa más resaltante para el distrito de Juliaca con los casos de EDAS notificados a la Dirección Regional de Salud Puno del periodo 2018, así mismo se identificó que la carga bacteriana expresada en coliformes totales y Fecales tiene un comportamiento irregular para cada distrito de la región, por ejemplo en el distrito de Puno se puede ver que existe una correlación débil entre estos parámetros a pesar de que el mayor número de casos por EDAS se encuentran en este distrito, esto puede deberse a que uno de los focos del desarrollo de colonias bacterianas se encuentre en las redes de distribución. En un estudio realizado en Gaza, Palestina, se encontró una fuerte correlación entre las enfermedades diarreicas con la contaminación de coliformes fecales en el sistema de distribución de agua potable (Abu Amr & Yassin, 2008), por lo que pueden existir otros factores en su casuística endémica y que la carga bacteriana pueda sumarse en su trayecto, por defectos funcionales y estructurales de las redes de distribución o al ser almacenada en el hogar.

En el Perú las EDAs son la tercera causa de muerte, principalmente en niños de zonas rurales y en los barrios peri-urbanos de Lima, cuyas condiciones de hacinamiento, falta de servicios agua y desagüe, y falta de alimentación saludable, son factores predisponentes (Robles, 2007; De la Cruz et al., 2005). En la región de Puno se puede ver que el mayor número de casos los presenta el distrito de Puno, seguido del distrito de Juliaca y en menor medida los demás distritos de la región a pesar que la mayor cantidad de coliformes totales se encontraron en el distrito de Sandía, sin embargo no se encontró una correlación significativa entre este parámetro y los casos de EDAS reportados en el distrito, lo cual evidencia que las causas del alto número de EDAs tiene otras justificantes.

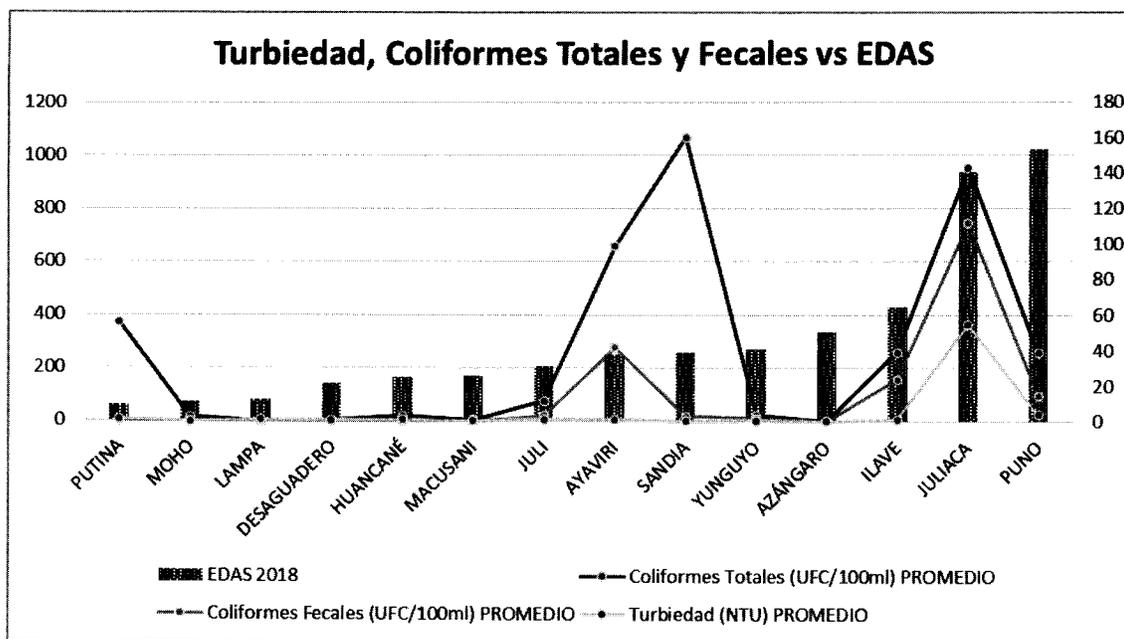


Figura 7. Correlación de los parámetros microbiológicos y las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) de la región de Puno

Por otro lado, para el parámetro de turbidez también se ve una relación con la carga bacteriana, según MORENO ABRIL y PEREZ LOPEZ (1999) mientras que altos valores de turbidez (y materia orgánica) suelen ser paralelos a la detección de valores elevados de coliformes totales, relación que se observa también para el distrito de Juliaca mientras que no se ve la misma relación para los demás distritos de la región.

Caso puntual es la alta concentración de coliformes determinado en la provincia de Sandia, en donde se nota una discreta relación con los casos de EDAs, lo cual implicaría que no se tiene una data confiable en cuanto al reporte de estas enfermedades.

Conclusiones

Se puede observar que existe una correlación significativa entre Coliformes Totales, Turbiedad y las Enfermedades Diarreicas Agudas(EDAs) para el distrito de Juliaca , donde se puede ver una clara vinculación entre los casos de EDAs notificados a la Dirección Regional de Salud, los niveles de turbidez hallados y la formación de colonias bacterianas, valores que según Estándares de Calidad de Agua sobrepasan el reglamento nacional, sin embargo no se observa una correlación significativa entre estos parámetros para los demás distritos de la región de Puno.

Las concentraciones de Ca en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasan los 60 mg/L

Referencias bibliográficas

- Abu Amr, S. y Yassin, M. (2008). *Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health* en Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: Seven years of monitoring (2000-2006). *Public health*, 122(11), pp.1275-1283. doi:10.1016/j.puhe.2008.02.009
- Agudelo, R. (2005). *Water: strategic resource in the 21st century*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol 23 N°1
- APHA, AWWA, & WPCF. (1989). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. 17th ed., Vol. 6. Washington, D.C.
- Autoridad Nacional del Agua (2017). *Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos*. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (2019). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. 1st ed. Lima, pp.28-62. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/209>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002). *Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima.
- De la Cruz, M., Herrera, M., Párraga, K., Rengifo, C., Rojas, F., Sanchez, J. y Lituma, D. (2005). *Prácticas de higiene y su relación con la prevalencia de enfermedad diarreica aguda*. *Revista de Facultad de Medicina Humana*, 5(1), 19-26.
- Higuera, A., Castillo, I., Eslava C., Cifuentes E., Cortés, J., Murillo, M. y Yalaupari, J. (2000). *Contaminación del Agua y efectos en la salud*.
- Lima, A y Mazari, M. (2006). *Evaluación bacteriológica de la Calidad del agua en el Río Lerma*. Universidad Nacional Autónoma de México de Ecología. Mexico.
- Ministerio Nacional del Ambiente (2017). *DS. N°004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud (2010). *Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, DS. DS N° 031-2010-SA*. Lima, Perú.
- Mulamattathil, S., Bezuidenhout, C., y Mbewe, M. (2015). *Analysis of physico-chemical and bacteriological quality of drinking water in Mafikeng, South Africa*. *Journal of Water and Health*, 13(4), pp.1143-1152. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.273>
- Neira-Munoz, E., Okoro, C. y McCarthy, (2007). *Outbreak of waterborne cryptosporidiosis associated with low oocyst concentrations*. Vol.135, pp.1159-1164. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0950268807008503>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- Price, M. (2007). *Agua subterránea*. Limusa. México, pp.330
- Robles, C. (2007). *Guía de promoción y prevención de enfermedades diarreicas en la atención farmacéutica*. Lima, PROESCUELA.
- Sabogal, L. (2002). *El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua*. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Signor RS, Ashbolt NJ. (2009). *Comparing probabilistic microbial risk assessments for drinking water against daily rather than annualised infection probability targets*. *J Water Heal* 2009. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19590121>.
- Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*.
- Yasin, M., Ketema, T., y Bacha, K. (2015). *Physico-chemical and bacteriological quality of drinking water of different sources, Jimma zone, Southwest Ethiopia*. *BMC Research Notes*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1376-5>