

**Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para
Consumo Humano
Puno – Perú**

**Physical-Chemical and Microbiological Evaluation of Water for
Human Consumption Puno - Peru**

Magaly Brousett-Minaya¹
brousett144@yahoo.es

Universidad Peruana Unión, Juliaca – Perú

Alex Chambi Rodríguez²
adannycr@gmail.com

Universidad Peruana Unión, Juliaca - Perú

Mery Mollocondo Turpo³
mery.turpo.17@gmail.com

Universidad Peruana Unión, Juliaca – Perú

Luzbenita Aguilar Atamari⁴
itamar.akire@gmail.com

Universidad Peruana Unión, Juliaca - Perú

Efrain Lujano Laura⁵
elujano28@gmail.com

**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
(SENAMHI).**

1 Magister en Biología Funcional y Molecular (área de Bioquímica), Magister en Investigación y Docencia Universitaria. Doctorando en Ciencias tecnológicas y medioambiente.

2 Ingeniero de alimentos

3 Ingeniero Ambiental

4 Ingeniero Ambiental

5 Ingeniero Agrícola

Resumen

Objetivo: verificar la calidad físico-químicos y microbiológica de agua para consumo humano, provenientes de cuatro fuentes de abastecimiento (superficial y subterránea) de la población Chullunquiani, Juliaca – Puno, entre julio de 2014 a marzo de 2016. Metodología: Los parámetros evaluados fueron: pH, conductividad, turbidez, dureza, sólidos disueltos, sulfatos, cloruros y coliformes totales; asimismo 23 metales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los análisis siguieron los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas: APHA, AWWA. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores estipulados por la OMS y la norma Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud. Resultados: Los parámetros físico-químicos se encuentra dentro del rango aceptable, a excepción del Aluminio para agua superficial que sobrepasa en 0,065mg/l y para el caso de las aguas subterráneas fue excedido el Boro con 0,025mg/l, asimismo se evidenció valores elevados de coliformes totales en épocas de lluvia, llegando a 11 866,6 UFC/100ml ($\pm 813,5$) como valor máximo. Conclusión: El agua que abastece al poblado de Chullunquiani no cumple con las normativas microbiológicas, demostrando la necesidad de implementar un programa de monitoreo que asegure una vigilancia sistemática de las fuentes de abastecimiento y distribución.

Palabras claves

Calidad de agua, consumo humano, parámetros de calidad.

Abstract

Aims: to verify the sanitary quality of water for human consumption in its physicochemical and microbiological aspects, coming from four sources of supply (surface and underground) in Chullunquiani, Juliaca – Puno. It was developed between July 2014 and March 2016. Methodology: The evaluated parameters were pH, conductivity, turbidity, hardness, dissolved solids, sulfates, chlorides and total coliforms, we also

analysed 23 metals, recommended by the World Health Organization (OMS). The methodology we used was the proposal in the Standard Methods for Water Analysis: APHA, AWWA. The results of this research were compared with the reference values stipulated by OMS and with the current norm of the Quality of the Water for Human Consumption of Peru's Ministry of Health. Results: The physico-chemical parameters studied are within the acceptable range with the exception of aluminum for surface water exceeding 0,065mg / l and for the case of groundwater Boron was exceeded 0,025mg / l. Likewise it was evidenced in rainy seasons, reaching 11 866,6 CFU / 100ml (\pm 813,5) as maximum value. Conclusion: The water that supplies the town of Chullunquiani does not comply with microbiological regulations, demonstrating the need to implement a monitoring program that ensures a systematic monitoring of sources of supply and distribution.

Key words

Water quality, human consumption, quality parameters



Introducción

Uno de los recursos vitales e indispensables para preservar la vida es el recurso hídrico, el cual se ha visto afectado por el crecimiento industrial y la sobrepoblación, los cuales provocan varios tipos de contaminación y polución en los sistemas acuáticos. Muchos de los elementos químicos del agua y sus compuestos que existían en forma natural, han sufrido alteraciones en sus concentraciones y sumado a la contaminación de agrotóxicos y metales traen como consecuencia aguas alteradas dañinas para la salud del consumidor. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen una dificultad de salud ambiental, frente a esta problemática existe una demanda urgente de control mediante la implementación de medidas de protección ambiental y de saneamiento, a fin de evitar el incremento de la prevalencia de las enfermedades relacionadas con la calidad

del agua de acuerdo a su procedencia y almacenamiento, considerando el coste beneficio y su efectividad. Por ello es necesario el conocimiento de las características físicoquímicas y microbiológicas del agua de consumo para cumplir con las exigencias de la entidad reguladora (OMS, 2008).

Varios países enfrentan el desafío de la degradación de la calidad de agua provocado principalmente por las interferencias antrópicas. En los reservorios brasileros el problema se ha incrementado considerablemente, afectando el balance ecológico, aumentando la vulnerabilidad ambiental (Rangel et al., 2012), y comprometiendo la calidad de los recursos hídricos en el país (Brito et al., 2011). En el Perú no se ha dado mucha importancia al estudio de la contaminación de aguas, especialmente de reservorios, tanques o cisternas que son las vías de distribución directa para los habitantes, encontrándose casos aislados como la investigación de Marchand (2002) que revela el estudio microbiológico de agua provenientes de pozos en zonas rurales de diez zonas de Lima, encontrando un 92,86% de coliformes totales; 92,86% de coliformes fecales (termotolerantes) y 42,86% de bacterias heterotróficas, concluyendo en aguas inaptas para el consumo humano. Asimismo en el estudio realizado entre los años del 2007 al 2010 por Miranda (2010) encontró que sólo el 4,9% de hogares con niños menores de 5 años de la zona rural de Lima presentan agua con ausencia de coliformes y *E. coli*, además que el 0,5% presenta cloro libre adecuado, datos preocupantes que afectan directamente la salud de la población Limeña.

Por otro lado, la presencia de macro y micronutrientes presentes en el agua en cantidades recomendables son necesarias para conservar la buena salud, por el contrario su mal absorción y/o deficiencia de estos metales como el Fe, Cu, Ca, entre otros, deriva en enfermedad celiaca (EC) y fenómenos asociados a un retraso de crecimiento y alteraciones inmunitarias (Guevara, 2014). Asimismo, las concentraciones altas de estas sustancias como plomo, cadmio y talio que se encuentran en el aire y agua como contaminantes ambientales, se asocian con múltiples efectos adversos en la salud; reportando órganos afectados (riñón, pulmón, hígado sistema gastrointestinal) sistema nervioso central y periférico (Nava-Ruíz, 2011),

como también efectos carcinogénicos (Oller-Arlandis, 2012) (Mancilla-Villa et al 2012) (Eróstegui C. 2012). La gravedad de estos efectos es dependiente del grado y tiempo de exposición a estas sustancias.

Considerando una urgente necesidad de verificar la calidad de este líquido vital indispensable para la vida, es que se presenta el estudio de evaluación de la calidad del agua de consumo en la población Chullunquiani, Juliaca- Puno, con la finalidad de evaluar parámetros físico-químicos, microbiológicos y comparar los resultados con las normas del Ministerio de Salud DS. N° 031-2010-SA (Dirección General de Salud Ambiental, 2011) y las recomendadas por la OMS en las Guías para la calidad de agua potable (2008), capítulos 7 y 12 referente a aspectos microbiológico y sustancias químicas respectivamente.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La población de Chullunquiani se encuentra ubicada en la ciudad de Juliaca en la provincia de San Román, departamento de Puno - Perú, a una altitud de 3 845 msnm, presenta un clima frío con temperaturas variadas entre 5 y 14°C durante el día dependiendo de la estación (SENAMHI, 2015). El clima de la región presenta tres estaciones definidas; periodo de diciembre a marzo donde existe mayores índices pluviométricos, de abril a junio que se caracteriza por presentar las temperaturas más bajas del año (bajo cero), llamada esta época de “helada” y por último la época seca entre los meses de agosto a noviembre donde presentan fuertes vientos. Esta zona presenta como únicas fuente de abastecimiento de agua dos manantiales y dos pozos ubicados según mapa de la figura 1. Estas aguas son almacenadas en reservorios principales, de los cuales se realizaron los análisis.

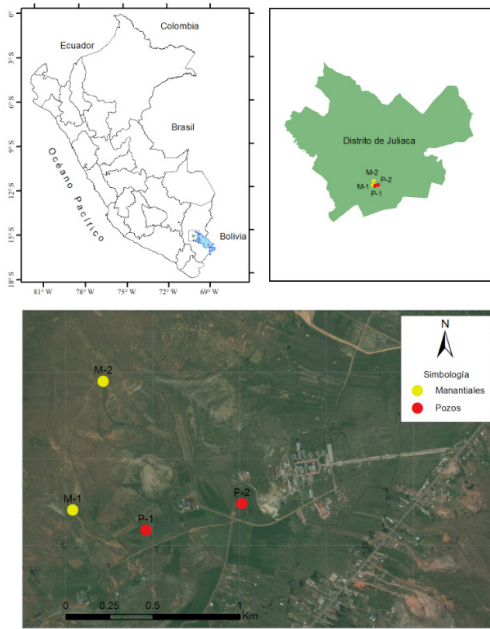


Figura 1. Coordenadas que los manantiales y pozos.

Método

Se realizó una evaluación in-situ con el fin de determinar las condiciones higiénicas como posibles factores de contaminación y saneamiento, asimismo verificar fuentes cercanas que podrían alterar su calidad e inocuidad, las muestras fueron tomadas de los reservorios principales (agua superficial y subterránea). El volumen de muestra mantenida a 4°C (cooler) fue de 200ml en frascos estériles, conteniendo 0,1 ml de tiosulfato de sodio al 10% para los análisis físico-químicos y microbiológicos, los estudios se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión. Los análisis fueron realizados por triplicado y calculado el promedio y la desviación estándar en cada uno de ellos. Asimismo, se estimó el intervalo de confianza para la media mediante la distribución de t de student, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significación del 5%.

Las muestras para la determinación de 23 metales recomendados por la OMS fueron tratadas con HNO_3 1:1 para su preservación y analizadas en el laboratorio ALS CORPLAB (Corporación de Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C., acreditado por INACAL DA-Perú Registro N° LE-029). Los análisis a excepción del mercurio, se realizaron por espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (EPA METHOD 200.7 Rev. 4.4 1994), el mercurio fue analizado por espectrometría de absorción atómica por vapor frío (EPA METHOD 245.1 Rev. 3.0 1994).

Para los análisis fisicoquímicos se siguió la metodología propuesta en los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas: APHA, AWWA 2012, lo cual incluye técnicas nefelométricas, fotométricas y colorimétricas; los análisis realizados fueron: pH, conductividad, turbidez, dureza, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos. Para los análisis microbiológicos e identificación de coliformes totales se siguió el método de recuento en placa con diluciones de muestra en tubos con agua peptonada a concentración simple, inoculadas en placas estériles con agar macconkey en incubación de 24 horas a 35 °C. Los datos obtenidos fueron expresados en UFC/100 ml según la normativa. Los resultados de los metales y análisis microbiológicos fueron comparados con los valores de las guías para la calidad de agua potable de la OMS. Los parámetros restantes fueron comparados con la normativa del Ministerio de Salud D.S. 031-2010-SA. Los muestreos para el estudio fueron realizados en intervalos de cuatro meses a partir de julio de 2014 a marzo de 2016.

Resultados

En la evaluación in situ se registró factores de contaminación, debido a que los manantiales no cuentan con construcciones adecuadas de saneamiento desde el punto de ubicación de la fuente hasta los reservorios de almacenamiento; se evidenció tuberías oxidadas y cajas de distribución sin tapas en las cuales se encontraron aves y roedores muertos, también se observó materia orgánica de ganado vacuno y ovino cerca de los efluentes. Estas condiciones higiénicas precarias se convierten en focos de contaminación, alterando la calidad del líquido vital.

I. Resultados de parámetros físico-químicos

Los resultados de pH, turbidez y sólidos totales en los manantiales y pozos se muestran en la figura 2.

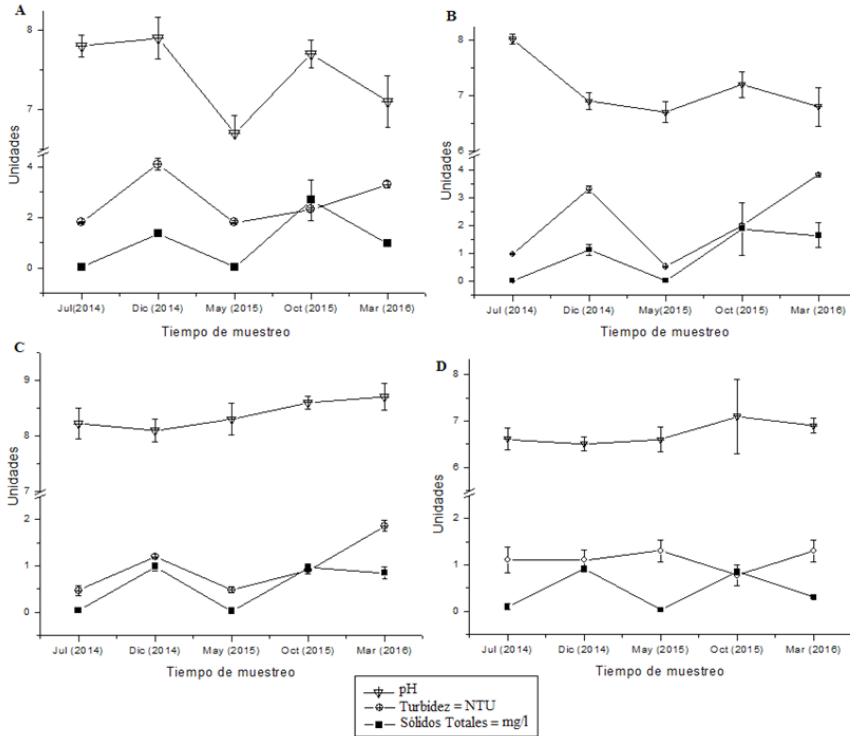


Figura 2. Resultados de pH, Turbidez y Sólidos Totales en los Manantiales y Pozos.

A: Manantial 1; B: Manantial 2; C: Pozo 1; D: Pozo 2.

El pH de las aguas analizadas se encuentra dentro del intervalo de confianza 6,8 y 8,1 con una probabilidad del 95% de confianza, los cuales se encuentran dentro de las normas establecidas para el manantial 1 (tabla 1), de igual manera para el manantial 2 con intervalo de confianza de 6,5 y 7,8. En el caso de las aguas subterráneas el pozo 1 presenta un ligero aumento de pH hasta 8,7 (figura 2C), lo que excedería la norma en un

0,2, no siendo un incremento de importancia. El pH básico podría ser explicado por el polvo proveniente de los suelos del lugar (Robles-Martínez et al., 2011) debido a que las fuentes de agua se encuentran expuestas a la intemperie y no cuentan con construcciones adecuadas de saneamiento. Los hallazgos del coeficiente pH cumplen con la norma establecida del Ministerio de Salud.

La turbidez resultó alta en las fuentes superficiales, específicamente en las temporadas de lluvia en el mes de diciembre 2014 y marzo de 2016, presentando resultados entre 4,1($\pm 0,24$) y 3,3($\pm 0,12$) NTU respectivamente (figura 2A, 2B), causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos. La turbidez de agua en fuentes superficiales se debe a los procesos erosivos de los suelos (Mejía, 2005) los cuales aumentan considerablemente en temporadas fluviales, cambiando el color de agua y teniendo estrecha relación con los sólidos disueltos encontrados en el mes de diciembre con 1,35mg/l ($\pm 0,05$) para el manantial 1 y para el manantial 2 con 1,12mg/l ($\pm 0,19$). Estos resultados se muestran superiores en comparación con las muestras tomadas en otras épocas del año a excepción del mes de octubre, en donde se encontró resultados máximos de 2,68 ($\pm 0,80$) y 1,87mg/l ($\pm 0,96$) para los manantiales 1 y 2 respectivamente; estos resultados podrían ser elevados debido a los fuertes vientos presentados en los meses de agosto a noviembre, donde son arrastradas grandes cantidades de partículas a las fuentes de agua superficiales, lo que no se muestra en las aguas subterráneas que contienen mínimas cantidades de sólidos disueltos.

Los resultados de este parámetro son mínimos comparados con el agua superficial de la microcuenca “El Limón” San Jerónimo -Honduras que presentó 50,9 mg/l a una turbidez mayor a 3 NTU (Mejía, 2005) y de las represas de Juiz de Fora en Minas Gerais –Brasil (Heidenreich et al., 2015) que presentan valores de hasta 142,0mg/l a 3,9 NTU. Las aguas superficiales y subterráneas que abastecen a la población de Chullunquiani poseen aceptable turbidez y pocos sólidos totales. Los hallazgos para ambos parámetros son estadísticamente significativos y cumplen con la norma del Ministerio de Salud (tabla 1).

Tabla 1. Intervalo de confianza para pH, turbidez y sólidos totales.

Julio de 2014 a Marzo de 2016									
Parámetros	pH	Inter. confianza		Turbidez (NTU)	Inter. confianza		S. Totales (mg/l)	Inter. confianza	
		I*	S*		I*	S*		I*	S*
Manantial 1	7,44	6,8	8,1	2,66	1,4	3,9	1,00	-0,4	2,4
Manantial 2	7,12	6,5	7,8	2,12	0,3	3,9	0,93	-0,2	2,0
Pozo 1	8,38	8,1	8,7	0,98	0,3	1,7	0,57	0,0	1,2
Pozo 2	6,74	6,4	7,1	1,11	0,8	1,4	0,43	-0,1	1,0
D.S. MINSA	6,5 – 8,5		Hasta 5		Hasta 1000				

D.S. MINSA: decreto supremo 031-2010-SA Ministerio de Salud.

I* Intervalo de confianza inferior.

S* Intervalo de confianza superior.

En la figura 3 se muestran los resultados de conductividad, cloruros y sulfatos

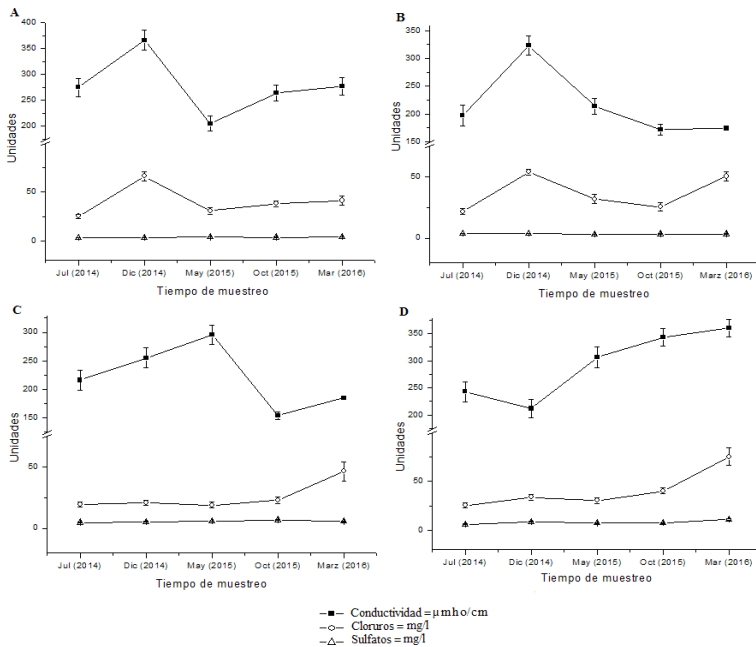


Figura 3. Resultados de Conductividad, Cloruros y sulfatos en los Manantiales y Pozos.

A: Manantial 1; B: Manantial 2; C: Pozo 1; D: Pozo 2

La conductividad eléctrica en general se encuentran dentro de la norma (1 500 $\mu\text{mho/cm}$) evidenciando niveles bajos de salinización; el valor de conductividad mínimo reportado para aguas subterráneas fue del pozo 2 con 212 ($\pm 16,6$) $\mu\text{mho/cm}$ presentado en diciembre de 2014 y un máximo de 360 ($\pm 16,7$) $\mu\text{mho/cm}$ evidenciados en marzo del 2016 (Figura 3D), estos valores se relacionan con los resultados de cloruros presentados en muestras del mismo pozo en las mismas fechas con 33,7($\pm 2,89$) y 75,37 ($\pm 8,91$) mg/l Cl⁻ respectivamente, siendo el último valor, la concentración más alta en el tiempo de monitoreo. Los valores altos reportados en diciembre 2014 con 366 $\mu\text{mho/cm}$ ($\pm 19,56$) y en marzo del 2016 con 277 $\mu\text{mho/cm}$ ($\pm 17,35$), también tienen relación con la época de lluvia de los primeros meses del año ya que las precipitaciones al remover sustancias del suelo, dejan a las sales disueltas en el agua, por lo que también aumenta la conductividad y a su vez la turbidez (figura 3A, B).

En caso de cloruros, estos se encuentran dentro de la normativa (250mg/l) tanto de las aguas superficiales como subterráneas, que corresponden a un rango de 18 a 75mg/l (figura 3), siendo los resultados mayores en las aguas superficiales. Con respecto a los sulfatos se evidencia mínimas cantidades tanto para aguas superficiales como subterráneas, concentraciones fluctuantes entre 3 y 10mg/l, el valor más alto fue registrado para el pozo 2 con 10,95 ($\pm 0,66$) mg/l. En general, el promedio de los parámetros de conductividad, cloruros y sulfatos al 95% de confianza se encuentran dentro de los límites calculados, demostrando que estos se encuentran dentro de la norma establecida.

Tabla 2. Intervalo de confianza para conductividad, cloruros y sulfatos.

Julio de 2014 a Marzo de 2016									
Parámetros	Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	Inter. confianza		Cloruros (mg/l)	Inter. confianza		sulfatos (mg/l)	Inter. confianza	
		I*	S*		I*	S*		I*	S*
Manantial 1	277,4	205,9	348,9	40,29	20,7	59,9	3,46	3,0	3,9
Manantial 2	215,9	138,7	293,3	36,56	18,5	54,6	3,46	3,1	3,8
Pozo 1	221,0	151,2	290,9	25,64	11,2	40,1	5,65	4,7	6,6
Pozo 2	292,8	213,7	372,0	40,97	16,2	65,8	7,98	5,6	10,3
D.S. MINSA	<i>Hasta 1500</i>			<i>Hasta 250</i>			<i>Hasta 250</i>		

D.S. MINSA: decreto supremo 031-2010-SA Ministerio de Salud.

I* Intervalo de confianza inferior.

S* Intervalo de confianza superior.

En la figura 4 se presentan los resultados con respecto a la dureza, la cual es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio, también llamada grado hidrotimétrico. Las aguas de Chullunquiani se encuentran dentro de los límites de la norma ($500 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$), evidenciando poca salinidad. Los valores de dureza total en aguas superficiales se encuentran en un rango de 92 a 135 mg/l , el valor máximo fue reportado en marzo del 2016 para el manantial 1 con $135,42 \text{ mg/l}$ ($\pm 4,11$), este valor se relaciona con el relativo incremento de la conductividad en la misma época de muestreo con $277 \mu\text{mho/cm}$ ($\pm 17,35$) (figura 3A). Estos valores son elevados comparados con los del manantial Chaullapujo en Tacna, presentados en un estudio de la calidad de agua fluvial, donde se reportó una dureza de $39,4 \text{ mg/l}$ (Calizaya-Anco, 2013), pero relativamente similares a los reportados en España con $134,95 \text{ mg/l}$ como valor promedio calculado de 10 puntos de muestreo (Palau & Guevara, 2013).

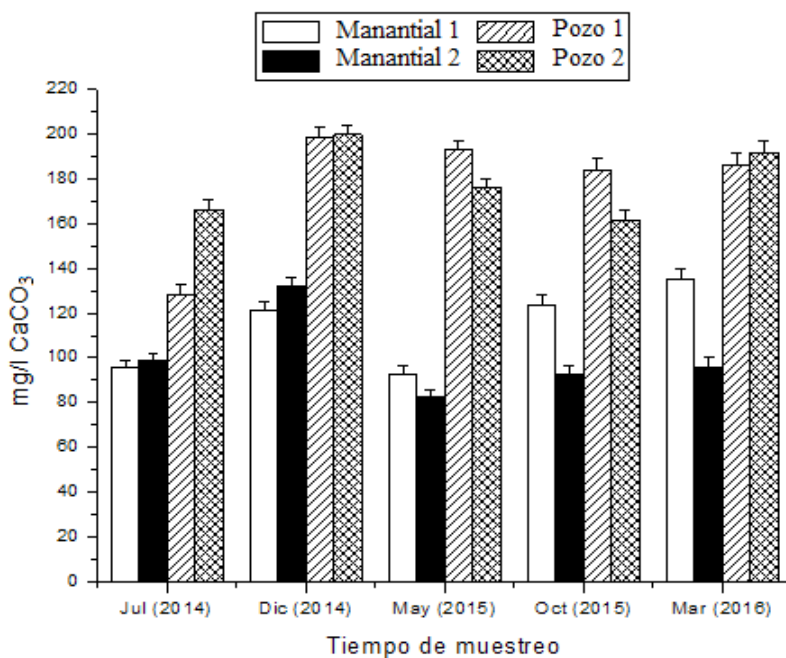


Figura 4. Dureza de aguas superficiales y subterráneas

II. Resultados de Metales

La tabla 3 y 4 muestran los resultados de los metales en aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 3. Resultados de metales en muestras de manantial.

Metales	Valor de Referencia. OMS	Resultado mg/l	Metales	Valor de Referencia. OMS	Resultado mg/l
Aluminio	0.2	0.265	Manganeso	0.4	<0.015
Arsénico	0.010	<0.010	Mercurio	0.006	<0.0001
Antimonio	0.02	<0.0006	Molibdeno	0.07	<0.018
Bario	0.7	0.147	Níquel	0.07	<0.002
Boro	0.05	0.045	Plata	5ug/l	<0.010
Cadmio	0.003	<0.003	Plomo	0.010	<0.008
Cobre	2.0	<0.003	Selenio	0.010	<0.010
Cromo	0.05	<0.009	Sodio	200	6.61
Estaño	1-2ug/l	<0.044	Zinc	3.0	<0.022
Hierro	0.3	0.220	Silicio	-	8.106

Tabla 4. Resultados de metales en muestras subterráneas.

Metales	Valor de Referencia. OMS	Resultado mg/l	Metales	Valor de Referencia. OMS	Resultado mg/l
Aluminio	0.2	0.024	Manganeso	0.4	0.123
Arsénico	0.010	<0.010	Mercurio	0.001	<0.0001
Antimonio	0.020	< 0.006	Molibdeno	0.07	<0.018
Bario	0.7	0.471	Níquel	0.07	<0.002
Boro	0.05	0.075	Plata	5ug/l	<0.010
Cadmio	0.003	<0.003	Plomo	0.010	<0.008
Cobre	2.0	<0.003	Selenio	0.010	<0.010
Cromo	0.05	<0.009	Sodio	200	14.31
Estaño	1-2ug/l	<0.044	Zinc	3.0	0.033
Hierro	0.3	0.254	Silicio	-	11.26

OMS. Organización mundial de la salud

En general las concentraciones de metales se encuentran dentro de los límites establecidos (OMS, 2008) a excepción del Aluminio para el agua superficial que sobrepasa e un mínimo de 0,065mg/l. Para el caso de las

aguas subterráneas fue excedido el Boro en un mínimo de 0,025mg/l. Los análisis de los metales fueron realizados al finalizar el estudio (marzo 2016), tanto en manantiales (tabla 3) como en pozos (tabla 4).

III. Resultados Microbiológicos

Los resultados de los análisis microbiológicos (figura 5) muestran la presencia de E. Coli para aguas de los dos manantiales en el mes de diciembre de 2014 reportando 4 866,6 UFC/100ml ($\pm 777,6$) para el manantial 1, y 1 633,3 UFC/100ml ($\pm 351,1$) para el manantial 2. Igualmente se evidenció valores altos en el mes de mayo de 2015 para el manantial 1 y 2 con 11 866,6 UFC/100ml ($\pm 813,5$) y 3 966,6 UFC/100ml ($\pm 366,5$) respectivamente, finalmente se reporta valores menores en el mes de octubre de 733,3 UFC/100ml ($\pm 152,8$) para el manantial 1 y 366,6 UFC/100ml ($\pm 97,7$) para el manantial 2. En cuanto a las aguas subterráneas no se registraron E. coli.

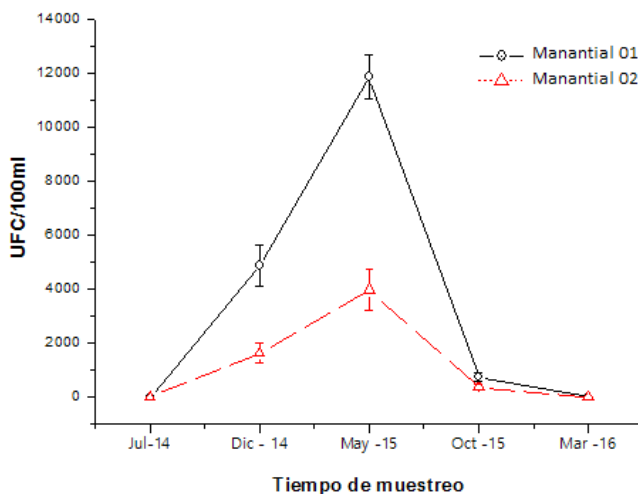


Figura 5. Resultados de E.Coli Totales en UFC/ml.

Discusión

Los resultados en general indican que los parámetros físico-químicos se encuentran dentro de la normativa del ministerio de Salud D.S. 031-2010-SA. En cuanto al pH los valores promediaron entre 6 y 7 unidades los cuales se encuentran dentro de lo establecido (6,5 a 8,5), estos valores pueden fluctuar según el pH de la lluvia en equilibrio con el CO₂ atmosférico y el mismo disuelto en el agua. Los valores encontrados se relacionan con los estudios de la calidad de agua para consumo en Mariano Escobedo Veracruz- México (Jofre-Meléndez, 2015), y las aguas del Manantial Chaullapujo en Tacna que reportaron pH de 8,0 (Calisaya-Anco, 2012). En cuanto a la conductividad que expresa salinidad y la capacidad de conducir la corriente eléctrica, las aguas subterráneas son relativamente mayores a las superficiales y más constantes (figura 3: A, B, C, D) esto debido a que las aguas subterráneas presentan una complejidad de sustancias químicas las cuales migran hacia el nivel freático arrastrando a las sustancias solubles como es el caso de las sales; por este motivo, los valores de conductividad en estas aguas son mayores a las aguas de manantiales. Sin embargo los valores encontrados en general son menores con los reportados en España con una media de 452,2 $\mu\text{mho/cm}$ (Palau & Guevara, 2013), pero mayores a la Represa Dr. João Penido en Minas Gerais (Heidenreich et al., 2015) que presentaron un mínimo de 10 y un máximo de 22 $\mu\text{mho/cm}$.

Los resultados de cloruros y sulfatos se encontraron por debajo de la norma y son mínimos comparados con en el estado de Yucatán – México (Pacheco et al., 2004), en los municipios de Chocholá, Muná y San Felipe con 404,537 y 632 mg/l Cl⁻ respectivamente, pero son mayores a las aguas del poblado de Mariano Escobedo con valores entre 3 y 6,9mg/l (Jofre-Meléndez, 2015). Los sulfatos a niveles normales, no tienen efectos adversos, pero cuando la cantidad excede a 250mg/l, las personas pueden sufrir problemas gastrointestinales (Miranda, 2010). Las sales se relacionan directamente con la dureza de las aguas, siendo así que las aguas subterráneas presentaron mayor dureza en comparación con las aguas superficiales, esto se debe a que las aguas subterráneas atraviesan depósitos geológicos los cuales contienen elementos minerales que la producen y por su poder solvente los disuelve e incorpora. Las aguas estudiadas de los manantiales se encontrarían dentro de la clasificación

medianamente duras (61 a 120 mg/l), mientras que de los pozos entre duras y muy duras (121 a 180 mg/l) según la clasificación de la OMS. Sin embargo, son aceptables para el consumo humano ya que se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

En cuanto al análisis de metales se evidenció que tanto el Aluminio como el Boro sobrepasan ligeramente los requerimientos de la OMS. El aluminio se considera como uno de los elementos metálicos más abundantes en la corteza terrestre y ha sido relacionado con enfermedades por afectar la motilidad del tracto, retrasando la evacuación gástrica, y causar estreñimiento crónico; así mismo, la acumulación de este metal fue encontrado en el cerebro de enfermos de Alzheimer, así lo investigó Martyn (1989), también existen estudios que mostraron que la inhalación de un tipo específico de polvo de aluminio es la causa de fibrosis pulmonar (Trejo R, 2004). Sin embargo la concentración excedente de este metal es mínimo el cual no causaría perjuicio. El Boro se encuentra de forma natural en aguas subterráneas y sus concentraciones varían mucho en función de la geología de la zona. La OMS menciona que una concentración alta de boro es tóxica para el aparato reproductor masculino. Sin embargo el excedente es de 0,025 mg/l concentración mínima. En consecuencia, podemos afirmar que el agua de consumo para la población de Chullunquiani se encuentra libre de riesgo por contaminación de metales.

Estudios diversos (Godoy, 2011; Olivas et al, 2013; Alba et al, 2013; Pino et al, 2010) señalan que enfermedades como la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera e infecciones gastrointestinales entre otras, son causadas por bacterias patógenas que se transmiten por medio de aguas contaminadas, de ahí la importancia de los coliformes totales y fecales como indicadores inmediatos de contaminación de agua. La presencia de E. Coli fue reportada sólo en muestras superficiales y en épocas de lluvias como consecuencia de los posibles arrastres de excremento de animales u otros contaminantes del mismo suelo que llegan hasta las fuentes de agua, como también a las cajas de distribución que se encontraron sin protección de ninguna índole, estas aguas contaminadas son almacenadas en los reservorios y luego son distribuidas a la población.

Las escasas investigaciones sobre este tema demuestran desinterés, un ejemplo de ello es la evaluación de la calidad del agua para consumo humano de la población del distrito de Sama en Tacna (Quispe, 2005) que reportó 9 700

UFC/100ml en el año de 1999, seguidamente en el 2005 en el mismo lugar se reportó 4 000 UFC/100ml. Asimismo, en los estudios de Lima estudiada en el año 2 000 se analizaron 224 muestras de agua del Sistema de almacenamiento y distribución de agua en inmuebles y 56 muestras de agua provenientes de pozo. De éstas, 40 (17.86%) muestras de agua de inmuebles y 41 (73.68%) muestras provenientes de pozos no cumplieron las normas microbiológicas, encontrándose *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Estreptococos fecales* (Marchand, 2002).

Estos resultados corroboran la afirmación en la XXI conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, donde se afirmó que la mayoría de países en desarrollo tiene un riesgo microbiológico alto y marcado principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, donde 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 (Rojas, 2002). De la misma manera, estudios internacionales afirman que los niños menores de 1 año de edad son los que sufren mayor morbilidad y mortalidad por enfermedades diarreicas (Vila, 2009; Suárez, 2009; Medina, 2010).

En la actualidad, las aguas para el consumo de la población que discurren por el sistema de tuberías, tienen su origen en dos manantiales, que a cielo abierto, aún no cuentan con ningún control sanitario; los mismos son transportados por tuberías averiadas que al observarse presentan grietas por donde hay filtración de elemento extraños, ocasionando el elevado número de coliformes presente en este líquido vital. De la misma manera, en el recorrido pueden observarse los bebederos improvisados para abastecimiento de los animales de pastoreo típico de la zona. Por estas razones, el número de bacterias encontradas son altas y suelen incrementarse en épocas de lluvia.

Por otro lado, los reservorios de almacenamiento no reciben tratamiento físico ni químico antes de su distribución a la población, por ende el saneamiento inadecuado sigue siendo hasta la fecha un peligro constante para la localidad de este sector. Por consiguiente, se podría considerar que las aguas de Chullunquiani son un riesgo para la salud y que se requiere con urgencia su potabilización al presentar valores altos de *E. coli*.

Conclusión

Se determinó que las fuentes de agua de abastecimiento para consumo humano de la población Chullunquiari (2 manantiales y 2 pozos) en general, cumplen con los parámetros físico-químicos del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS. N° 031-2010-SA, de igual modo los metales se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la OMS a excepción del Aluminio y Boro en mínimas cantidades de 0,065mg/l y 0,025mg/l respectivamente.

En los parámetros microbiológicos, el agua no cumple con la normativa, encontrándose valores muy altos en contaminación por E. Coli total en las temporadas de lluvia, llegando a 11 866,6 UFC/100ml ($\pm 813,5$) como valor máximo correspondiente al mes de mayo en el manantial 1, y el valor menor fue registrado en el mes de octubre con 733,3 UFC/100ml ($\pm 152,8$) para el manantial 2. Mediante esta investigación se sugiere la pronta desinfección en los reservorios de almacenamiento, para eliminar contaminación en el trayecto y garantizar su inocuidad como producto final, de esta manera prevenir los factores de riesgo sanitario, promover y proteger la salud de la población.

Referencias Bibliográficas

- Alba, J.; Ortega, J.; Álvarez, G.; Cervantes, M.; Ruiz, Urtiz, N.; Martínez, A. (2013). Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Química Viva* 12 (3)
- APHA, AWWA & WEF. (2012). *Standar Methods for the examination of water and wastewater*. Washintong D.C: 22 ED.
- Brito, S.L.; Maia-Barbosa, P.M.; Pinto-Coelho, R.M. (2011). Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. *Lake and Reservoir* 16 (4): 253–264. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2011.00484.x.
- Calizaya-Anco, J.; Avendaño-Cáceres, M.; Delgado-Vargas, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista*

- Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. Vol 30. ISSN 1726-4634.
- Dirección General de Salud Ambiental. Lima Perú. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA.
- Eróstegui, C. (2012). Contaminación por metales pesados. *Rev Cient Cienc Méd* 12 (1).
- Godoy, P.; Bartolomé, R.; Torres, J.; Espineta, L.; Nuin, C.; Domínguez, A. *et al.* (2011). Brote de gastroenteritis por el consumo de agua de suministro público causado por *Shigella sonnei*. *Gac Sanit.* 25(5):363–367.
- Guevara, G.; Chavez, E.; Castillo-Duran, C. (2014). Micronutrient deficiencies and celiac disease in Pediatrics. *Arch. argent. pediatri.* vol.112 no.5 Buenos Aires.
- Heidenreich, M.; Fonseca, F da Silva C.; Cappa, L. (2015). Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science.* ISSN 1980-993X- doi: 10.4136/1980-993X.
- Jofre-Meléndez, R.; Cervantes-Pérez, J.; Barradas, V. (2015). Calidad de agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del río Pixquiác, Veracruz, México. *Revista especializada Ciencias Químico-Biológicas.* 18(2):122-130.
- Mancilla-Villa, O.; Ortega-Escobar, H.; Ramírez-Ayala, C. *et al.* (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie* 28 (1): 39-48.
- Marchand, E.O. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo en Lima Metropolitana. Tesis para optar el grado de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- Martyn, C.N.; Barker, D.J.; Osmond, C.; Harris, E.C.; Edwarson, J.A.; Lacey, R.F. (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet* Volumen 1, No. 8629: 59-62.

- Medina, G.M. (2010). Detección de *Escherichia coli* diarreogénicos en niños de barrios humildes de Corrientes, Argentina. Rev Cubana Med Trop. 628 (1): 56-65.
- Mejía, M. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. CATIE. Costa Rica.
- Miranda, M. (2010). Situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú. Rev Peru Med exp salud publica 27(4): 506-11.
- Nava-Ruíz, C. & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Arch Neurocién (Mex) Vol. 16, No. 3: 140-147.
- Olivas, E.; Flores, J.; George, D.; Di Giovanni.; Corral, B.; Osuna, P. (2013). Contaminación fecal en agua potable del valle de Juárez. Terra Latinoamericana 31(2)
- Oller-Arlandis, V. & Sanz-Valero, J. (2012). Cáncer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática. Rev Panam Salud Pública. 32(6):435-43.
- OMS. 2008. Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición.vol 1. ISBN 92 4 154696 4.
- Pacheco J, Cabrera A, Pérez R. 2004. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. Ingeniería 8(2): 165-179.
- Palau, M. & Guevara, E. (2013). Calidad del agua de consumo humano. Noveno informe técnico del agua para consumo por la administración sanitaria autónoma local. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. España. (en línea). Acceso 17/07/16.
- Pino, N.; Tejada, O.; Chávez, Z.; Rapado, M. (2010). Enfermedades diarreicas agudas y su relación con la calidad de agua de consumo. Bejucal. Rev. Habanera de Ciencias Medicas 9(4): 473-479.
- Quispe, A. (2005). Evaluación preliminar de la calidad del agua para consumo humano de la población del distrito de sama y alternativas de tratamiento. Revista Ciencia & Desarrollo. (en línea). Acceso

15/07/16.

- Rangel, L.M.; Silva, L.H.; Rosa, P. *et al.* (2012). Phytoplankton biomass is mainly controlled by hydrology and phosphorus concentrations in tropical hydroelectric reservoirs. *Hydrobiologia*, 693(1): 13- 28. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1083-3>.
- Robles-Martinez, F.; Morales-López, Y.; Piña-Guzmán, A B.; Espíndola-Serafin, O.; Tovar-Gálvez, LR.; & Valencia-del Toro, G. (2011). Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario mas grande de la zona metropolitana de la ciudad de México. *Universidad y Ciencia*, 27(2): 121-132.
- Rojas, R. (2002). Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima –Perú.
- SENAMHI. (2015). Direccion Regional de Puno.SENAMHI - Direccion Zonal Puno: <http://puno.senamhi.gob.pe/web/hr.php?p=2013>. (en linea). Acceso 24/07/2015.
- Suárez, L. & Cano, B. (2009). Manejo actual de la gastroenteritis aguda (GEA) con soluciones de hidratación oral. *Nutr. Clin. Diet. Hosp.* 29(2): 6-14.
- Trejo, R. & Hernández, V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable, Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguas calientes, México. *REv Conciencia Tecnológica*, núm. 25.
- Vila, Y.; Martinez, A.; Buesa, J.; Costelo, J. (2009). Diagnostico microbiológico de las infecciones gastrointestinales. En: *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*. 27(7): 406-411.

Artículo Recibido: 25-10-2017

Artículo Aceptado: 30-01-2018