

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN



Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal

**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS
AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE
CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO”**

Investigación Aplicada

Gestión de los Recursos Hídricos

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

Juliaca, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

COMISION ORGANIZADORA

Dr. Freddy Martín Marrero Saucedo
Presidente de Comisión Organizadora

Dr. Percy Francisco Gutiérrez Salas
Vicepresidente Académico

Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
Vicepresidente de Investigación

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Dra. Ingrid Rossana Rodríguez Chokewanca

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Pineda Tapia
Investigador principal

Bach. Dany Coaquira Mamani
Asistente de investigación

Bach. Diego Wilman De La Cruz Paredes
Asistente de investigación

Bach. Lisbeth Carina Coaquira Huacani
Asistente de investigación

Bach. Maribel Jara Mamani
Asistente de investigación

DEDICATORIA

A los estudiantes de la E. P. de Ingeniería Ambiental y Forestal

(J. Pineda)

A la “Sociedad de Investigación ACh₂O”

(DyCoM)

A mis padres y hermana quienes han sido mi mayor soporte y fortaleza, por todo su apoyo incondicional, motivación y por transmitirme la fortaleza para continuar cumpliendo mis objetivos, gracias.

(M.Jara)

A mi familia sobre todo a mis padres, a este maravilloso grupo de investigación y también a las personas que nos han brindado su apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto.

(L. Coaquira)

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarnos la oportunidad de ejecutar el presente trabajo de investigación y equipamiento de los laboratorios para el aprovechamiento de los docentes y estudiantes.

Al Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso, Vicepresidente de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca, por su apoyo en la conclusión de la presente investigación.

A la Dirección de laboratorios generales y gabinetes de la Universidad Nacional de Juliaca, por su apoyo y constante afán por el desarrollo de la universidad, en especial a los laboratorios de Química y Biología

A los revisores de los informes de investigación por las revisiones y enriquecimiento de este informe final de investigación.

A la empresa CIMATEC. S.A. por su apoyo en la capacitación continua a los investigadores

A las entidades encargadas de realizar el abastecimiento de agua potable en cada una de las provincias, como son: EPS AGUAS DEL ALTIPLANO, EPS NOR PUNO, EPS SEDA JULIACA, EMAPA-YUNGUYO S.R. LTADA, a la Empresa Municipal de Saneamiento Básico Puno S.A EMSA-PUNO S. A. sede Puno y Administración Local Desaguadero, A la Unidad de Gestión Administrativa de Servicios de Saneamiento UGASS Juli, UGASS Ilave, ATM – Lampa, ATM – Moho, ATM – Sandía, ATM – Macusani, Etc. Por brindarnos su apoyo y las facilidades de acceso durante la etapa de toma de muestras en las Fuentes de Captación de Agua Potable.

A la Dirección Regional de Salud Puno – DIRESA, especialmente a la Dirección de Estadística e Informática por brindarnos la información necesaria para poder realizar este proyecto de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	10
Capítulo I: MARCO TEÓRICO.....	12
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Bases Teóricas	13
1.2.1 El recurso agua.	13
1.2.2 Contaminación del agua.	25
1.2.3 Normativa y estándares del agua	26
1.2.4. El agua y la salud humana.	28
1.3. Marco conceptual:.....	29
1.3.2. Temperatura del agua:.....	29
1.3.3. Potencial Hidrógeno (pH):.....	29
1.3.4. Conductividad Eléctrica (CE):.....	29
1.3.5. Oxígeno Disuelto (OD).....	29
Capítulo II: METODOLOGÍA	31
Campo.....	31
Zona sur	33
Zona norte	33
Análisis Microbiológico.....	34
Análisis físico químico	34
Determinación de Metales	35
Capitulo III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37

Resultados.....	37
Red de monitoreo	37
Total, parámetros analizados.....	38
Parámetros analizados en campo.....	39
Parámetros Fisicoquímicos.....	39
Conductividad	39
Turbiedad.....	40
Nitratos.....	41
Sólidos Totales.....	41
Sólidos Disueltos Totales	42
Sólidos Totales Suspendidos	43
Parámetros microbiológicos.....	44
Determinación de Metales	45
Calcio.....	45
Magnesio	46
Hierro	46
Manganeso	47
Potasio.....	48
Discusión.....	49
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	62
Anexo 1: Registros y Formatos.....	62
Anexo 2: Evidencia Fotográfica	65
Anexo 3: Artículo Científico.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Red de monitoreo para el análisis de agua.....	37
Tabla 2. Resultados generales de los parámetros analizados.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua en la tierra.	14
Figura 2. Solubilidad en función de la temperatura del agua.	20
Figura 3. Equilibrios trifásicos en el sistema CO ₂ /Carbonato.....	21
Figura 4. Procesos de hidrólisis.....	22
Figura 5. ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).....	23
Figura 6. Tipos de alcalinidad.....	25
Figura 7. Puntos de Muestreo de la zona sur y norte (Fuente: Elaboración propia).....	31
Figura 8. Resultados de parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto y pH. para todas las provincias monitoreadas.	39
Figura 9. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: conductividad.....	40
Figura 10. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: turbiedad.....	40
Figura 11. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: nitratos.....	41
Figura 12. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Totales.....	42
Figura 13. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Disueltos Totales.....	42
Figura 14. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Disueltos Totales.....	43
Figura 15. Resultados de parámetros fisicoquímicos: Sólidos totales, Sólidos totales disueltos y Sólidos suspendidos totales.	44
Figura 16. Resultados de parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.....	45
Figura 17. Resultados de parámetros metales: Calcio.	45
Figura 18. Resultados de parámetros metales: Magnesio.....	46
Figura 19. Resultados de parámetros metales: Hierro.....	47
Figura 20. Resultados de parámetros metales: Manganeso.....	47
Figura 21. Resultados de parámetros metales: Potasio.	48
Figura 22. Correlación de los parámetros microbiológicos y las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) de la región de Puno.....	53

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinó parámetros microbiológicos, y físico químicos, dentro de los cuales se analizó la concentración de metales (Ca, K, Fe, Mn y Mg), en muestras de aguas obtenidas en 24 puntos de captación para abastecimiento de las principales provincias de la región Puno, para lo cual se definió una red de monitoreo, considerando su ubicación política y de acuerdo al sistema de posicionamiento global, se analizaron 16 parámetros de los cuales se observó 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, (6.23 – 8.75) pH respectivamente. Por otro lado, en cuanto a la conductividad el 16% de las muestras analizadas superan los ECAs, llegando a picos superiores de 1538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el distrito de Puno (PP-01), con un máximo registrado en Yunguyo (YY-01) de 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el mínimo en Sandia (SS-01) con 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La mayor concentración de turbidez, se encuentra en la ciudad de Juliaca, 54.70 UNT, para el parámetro de NO_3^- se observa que los valores no exceden a los límites establecidos, así mismo el valor mínimo de concentración de NO_3^- se encuentra en MA-01 (Ayaviri) con 0.020 mg/L y el valor máximo es en CD-02 (Desaguadero) con 2.817 mg/L.

En el análisis de Sólidos Disueltos Totales, se obtuvieron valores superiores al límite de 1090 mg/l en los puntos de Yunguyo (YY-01), seguido de Puno con 900 mg/l y como mínimo en Moho (MM-02) con 20 mg/l. Para Sólidos Totales se obtuvo como valor máximo 1130 mg/l en Yunguyo (YY-01), seguido de Puno (PP-01) con 936.67 mg/l y para el caso de Sólidos Suspendedos Totales se obtuvo 66.77 mg/l en la captación de Seda Juliaca (SJ -01) seguido por Juli (CJ-02) con 50.53 mg/l.

Para los parámetros de Coliformes Totales y Coliformes Fecales 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).

Las mayores concentraciones de Ca se encontraron en Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani y Putina 01 sobrepasando los 60 mg/L; mientras que las aguas de Juli, Puno 02, Juliaca, Moho y Sandia están por debajo de los 20 mg/L. Las concentraciones de Mg en la que esta vez las muestras de Yunguyo 01 y Puno 01 tienen las concentraciones más altas de este metal llegando a 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. Los resultados de Mn, muestran que solo una muestra, la de llave 02 sobrepasa los 0.4 mg/L

que es el valor establecido; mientras tanto muestras como las de Macusani, Putina y Sandia están bajo los límites de detección del equipo. En cuanto a Fe, 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 muy bajas, menores a los límites de detección del equipo.

Se observa que los resultados de la Zona Sur de la región de Puno, existe una correlación entre Coliformes Totales, Turbiedad y las Enfermedades Diarreicas Agudas, observando una correlación significativa entre estos parámetros para el distrito de Juliaca así mismo se puede ver una clara vinculación entre los niveles de turbidez hallados y la formación de colonias bacterianas a excepción del distrito de Puno en donde se puede ver que no existe una correlación significativa a pesar de que el mayor número de casos por EDAS se encuentran en este distrito.

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

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible (Ley N°29338, 2009), 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, 2006). 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, disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres, Cruz y Patiño, 2009). Otra de las 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), según menciona (Gerba y Bitton 1984, Zoller 1994) “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” (citado en Ramírez et al, 2009).

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 el 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, el 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 et al.; 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. 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 de las principales fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano en las principales provincias de la región Puno y su relación con la presencia de enfermedades digestivas agudas; empleando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para a posteriori contrastar los resultados con los estándares de calidad de agua y el reglamento de la calidad del agua para consumo humano demarcados por la legislación Peruana, así como también con la normatividad internacional.

Capítulo I: MARCO TEÓRICO

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.

1.1 Antecedentes

Robles, Esperanza et al. (2018), evaluaron la calidad del agua para consumo humano. Y Determinaron la calidad del agua de los hogares de la Ciudad de México. En donde Se tomaron once muestras de las delegaciones, eligiendo tres hogares en cada una. Se tomaron muestras de diferentes sitios en cada casa, incluida la parada principal válvula, tanques de agua y / o cisternas, grifos de cocina y baño y contenedores de 20 litros. Los parámetros bacteriológicos determinados fueron coliformes totales, coliformes fecales y 18 parámetros fisicoquímicos. De las 33 casas muestreadas, 16 no presentaron contaminación total o coliformes fecales en la válvula de cierre principal o interior. 15 tenían contaminación bacteriana en el interior y 10 fueron solo contaminado en la válvula de cierre principal, que estaba relacionado con poco o nada cloración De los 19 carbohidratos analizados, 11 tenían bacterias contaminación. Físico-químicamente, solo algunas casas estaban fuera de la norma en uno o más de los siguientes parámetros: nitrógeno amoniacal, nitratos, turbidez sólida disuelta y cloro libre residual. Todos, sin embargo, excedieron el límite para el manganeso. Delegación 4 presentó las mayores diferencias en relación con el contenido de sal, mientras que la delegación 2 tuvo la mayor similitud. En conclusión, las delegaciones cuyas tres casas no tenían contaminación bacteriológica en ningún o la válvula de cierre principal ni el interior y que también dio el mejor los resultados fisicoquímicos fueron 8 y 11; las peores delegaciones con las tres casas contaminadas en la válvula de cierre principal y / o interior estaban 2 y 4. La limpieza regular y el cuidado de los depósitos interiores de agua es Muy importante para evitar la contaminación interna.

Rubio et al. (2015), Detectaron la presencia de Coliformes totales y fecales en todas las muestras tomadas en una comunidad en Chihuahua, México. Así como también Beltrán et al., Encontraron que el 50% de la población de Columbia no tiene

acceso a la bebida agua, 10 millones de colombianos no tienen acueducto y cerca de 800 asientos municipales están a punto de desaparecer. Bueno – Zabala et al. (2013), mostraron la presencia de algunos metales pesados y Sustancias de interés sanitario que pueden representar riesgos para la salud. Si los sistemas de suministro de agua potable (SAAP), que suministran agua de la sección evaluada, no tiene suficientes barreras de tratamiento.

Monteverde et al. (2013), En su estudio sobre la cuenca Matanza-Riachuelo del Gran Buenos Aires descubrió que, Según su origen, el 9% de las muestras de agua del público red, 45% de agua embotellada y 80% de perforaciones o los pozos individuales no se podían beber debido al exceso de coliformes, *Escherichia coli* o nitratos. Bolaños. (2013), encontró que, en una provincia griega, los principales problemas son: la vulnerabilidad de mana a la contaminación; procesos de cloración defectuosos, y contaminación con coliformes totales de varios sitios estudiados Briñez et al. (2013), Encontraron que el 63.83% de los municipios en Tolima, Colombia, tenía agua no potable. En Tamaulipas México, la contaminación bacteriológica es un factor destacado en las fuentes de suministro de agua de las comunidades rurales Robles, et al. (2018).

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 El recurso agua.

El agua se encuentra en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. El total de agua en la Tierra se estima en unos 1.400 millones de km³, de los cuáles un 3% del total corresponde a agua dulce. La provisión global de agua en la Tierra (invariable desde hace miles de millones de años) está sometida al denominado "Ciclo Hidrológico" que consiste en una serie de cambios de fase, de características físicas, químicas, y microbiológicas, e incluso, de emplazamiento físico (mares, nubes, glaciales, ríos, aguas subterráneas) cuyo último efecto es la "renovación" periódica de la dotación de agua en las grandes acumulaciones de ésta del planeta: océanos, ríos y lagos, atmósfera y litosfera. El motor del "Ciclo Hidrológico" es la radiación solar recibida por la Tierra que provoca la evaporación de agua desde la superficie libre de océanos y mares hasta la atmósfera.

La actual problemática relacionado con el agua potable motivó a que el acceso a este recurso, en cantidad y calidad, se reconociera como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida (ONU 2010). Adicionalmente a este estatus, el acceso al agua es un eje principal de trabajo para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Aquí, se presta especial atención a las áreas rurales, en donde se concentra la mayor población que aun depende de fuentes de abastecimiento de agua como pozos protegidos, fuentes públicas, bombas manuales y captación de agua de lluvia (UNICEF 2013).

A) Suministro y aprovechamiento del recurso agua

El agua potable es un recurso muy importante pero escaso para salud, y su deterioro es cada vez más grave problema y considerado un problema ambiental importante. Todos En todo el mundo, alrededor de 3 de cada 10 personas carecen de acceso a agua potable doméstica, y 6 de cada 10 carecen de saneamiento seguro, según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y UNICEF [3].

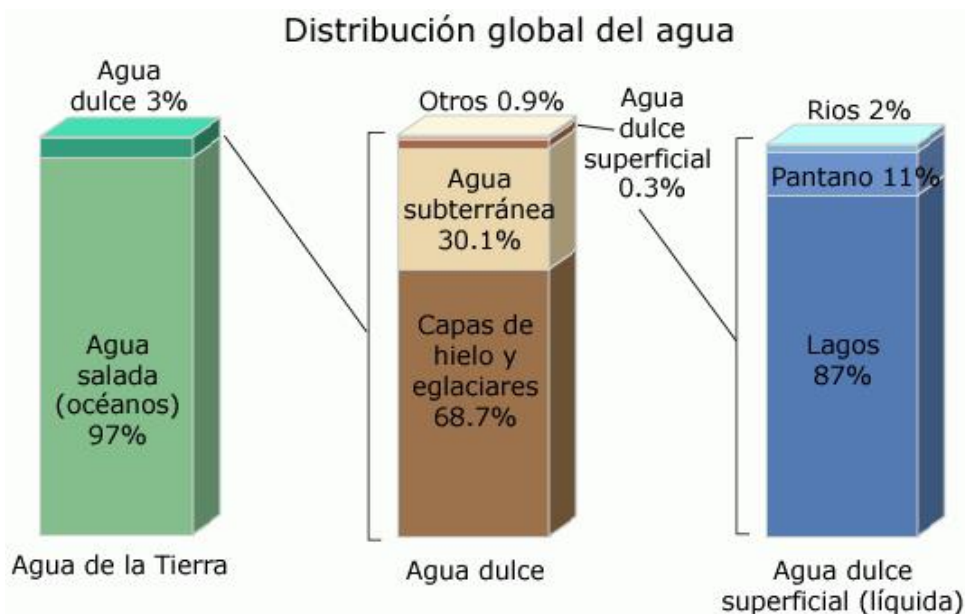


Figura 1. Distribución del agua en la tierra.

Fuente: la hidrosfera, extraído de https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_4.pdf

B) Composición química del agua

Está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno. Los enlaces H-O son covalentes, dado que comparten un par electrónico. Debido a que el oxígeno tiene un carácter no metálico mayor (posee una mayor electronegatividad), el par electrónico de enlace está más cerca de este elemento que del hidrógeno, determinando la polaridad del enlace. La estructura de la molécula de agua es angular, y el ángulo de enlace es de 105° . La estructura del agua es un dipolo, donde el oxígeno tiene una densidad de carga negativa, y asociado a los hidrógenos encontramos una densidad de carga positiva. La condición de polaridad de las moléculas del agua hace que estas se atraigan entre sí, generando una interacción molecular entre el polo positivo de una molécula y el polo negativo de otra, mediante una asociación llamada puente de hidrógeno o enlace puente de hidrógeno, Rigola, M. (1990). Desde el punto de vista químico, el agua es considerada como un compuesto.

a) Propiedades físicas

De densidad casi igual a la unidad (0,9999 g/cm a 20°C), su tensión superficial varía con la temperatura, disminuyendo desde 75,5 din/cm a 0°C hasta un valor nulo

en el punto crítico (aquél en que coexisten los tres estados físicos de la sustancia) así como con los gases disueltos y con la presencia de otras sustancias en el agua. Es poco compresible, teniendo una alta capacidad calorífica con un mínimo entre 34 y 35 °C. Esto actúa como bomba de calor en la regulación del clima de la Tierra, actuando los océanos como termostatos realizando un tránsito reversible de energía desde las aguas cálidas hacia las zonas frías. La conductividad eléctrica del agua pura es muy baja ($\approx 0,05 \times 10^{-6} \text{ Ohm}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) incrementándose con la disolución de electrolitos, más cuanto más disociado esté aquél. Conductividad y contenido salino de un agua natural fluyente (ríos, arroyos) suele ir incrementándose a través de su recorrido sobre el terreno por disolución de especies. Además, el agua posee una alta reactividad que se pone de manifiesto en su poder de disolución de materiales. Un proceso de disolución implica el cambio.

Temperatura: La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología. Aunque la temperatura de un agua superficial está ligada a la irradiación. La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología. Aunque la temperatura de un agua superficial está ligada a la irradiación.

Color: El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. En aguas naturales de lagos y embalses suele existir una relación directa entre color y pH, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. El color de las aguas profundas de lagos y embalses durante la época de estratificación térmica es marcadamente superior al del agua superficial.

Olor-sabor: Fisiológicamente, los sentidos del gusto y el olfato están íntimamente relacionados ya que las papilas linguales y las olfativas detectan estímulos simultáneos y complementarios. Solamente existen cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. Todos los demás sabores se obtienen por interacción de estos reseñados. Es muy raro que las sustancias productoras de olor y sabor se encuentren aisladas en un agua. No obstante, para sustancias aisladas se podría relacionar la intensidad de sabor/olor con la concentración de sustancia productora en el agua, p.e., mediante la fórmula de WEBER-FRECHNER, " $I = K \times \log C$ ", siendo "I" intensidad, "C"

concentración y "K" un término de proporcionalidad constante. En la situación habitual, las sustancias con capacidad de producir olor/sabor en un agua pueden interactuar en tres formas:

b) Propiedades Químicas

a. Polaridad:

El agua tiene una estructura molecular simple. Está compuesta por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Cada átomo de hidrógeno se encuentra unido covalentemente al oxígeno por medio de un par de electrones de enlace. El oxígeno tiene además dos pares de electrones no enlazantes. De esta manera existen cuatro pares de electrones rodeando al átomo de oxígeno: dos pares formando parte de los enlaces covalentes con los átomos de hidrógeno y dos pares no compartidos en el lado opuesto. El oxígeno es un átomo electronegativo o "amante" de los electrones, a diferencia del hidrógeno. El agua es una molécula "polar"; es decir, existe en ella una distribución irregular de la densidad electrónica. Por esta razón, el agua posee una carga parcial negativa (Δ^-) cerca del átomo de oxígeno y una carga parcial positiva (Δ^+) cerca de los átomos de hidrógeno. Una atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno y la carga parcial negativa cercana al oxígeno da lugar a un enlace por puente de hidrógeno, como se muestra en la figura. (Biophysics, 2005).

Muchas otras propiedades únicas del agua son debidas a los puentes de hidrógeno. Por ejemplo, el hielo flota porque los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas de agua más separadas en el agua sólida que en el agua líquida, donde hay un enlace de hidrógeno menos por cada molécula. Las propiedades físicas únicas, incluyendo un alto calor de vaporización, una fuerte tensión superficial, un calor específico alto y el hecho de ser casi el disolvente universal, también son debidas a la polaridad del agua y a su capacidad de formar enlaces por puentes de hidrógeno. El efecto hidrofóbico, o la exclusión de compuestos que contienen carbono e hidrógeno (sustancias no polares) es otra de las propiedades únicas del agua causadas por los enlaces de hidrógeno. El efecto hidrofóbico es particularmente importante en la formación de membranas celulares. La mejor descripción que puede darse de este efecto es que el agua "arrincona" a las moléculas no polares, manteniéndolas juntas. (Biophysics, 2005)

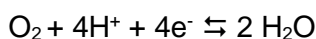
C) Química del agua.

a. Procesos de Oxidación y reducción en aguas naturales

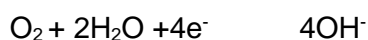
i. Oxígeno disuelto

El oxígeno molecular disuelto es el agente oxidante más importante en las aguas naturales. En la reacción, cada uno de sus átomos de oxígeno se reduce desde su estado de oxidación 0 hasta el estado -2 en el H₂O o en el OH⁻.

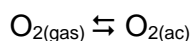
En una reacción **ácida** la semirreacción es



En una reacción **básica** la semirreacción es



Concentración del oxígeno disuelto en agua es pequeña desde un punto de vista ecológico. Para la disolución de oxígeno de oxígeno molecular gas en el agua el constante equilibrio es la constante de la ley de Henry, K_H, que para el oxígeno a 25°C es de 1,3 x 10⁻³ mol L⁻¹ atm⁻¹:



$$K_H = [\text{O}_{2(\text{ac})}]/P_{\text{O}_2} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ moles L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

Puesto que en el aire la presión parcial de oxígeno, es de 0,21 atmosferas (atm), se deduce que la solubilidad del O₂ es de 8,7 mg L⁻¹. Este valor puede expresarse también como 8,7 ppm, ya que, tal como se sabe, las concentraciones en ppm se basan en la masa y no en los moles. (Adviértase que para simplificar se utilizan concentraciones molares en lugar de actividades en todos los cálculos de equilibrio a lo largo del libro, ya que en general se consideran solo disoluciones muy diluidas.

Además, se ignora la pequeña corrección para el vapor de agua al determinar las presiones atmosféricas de los gases.)

Debido a que las soluciones de los gases aumentan al disminuir la temperatura, la cantidad de O₂ que se disuelve a 0°C (14,7ppm) es mayor que la cantidad.

Que se disuelve a 35°C (7,0ppm). La concentración media de oxígeno que se encuentra en las aguas naturales superficiales no contaminadas en los Estados Unidos es de unas 10 ppm. (Colin Baird, 2014).

ii. La escala de pH

Expresar la concentración de los iones H₃O⁺ y OH⁻ en números tan pequeños resulta engorroso, por lo que en 1909 se definió la escala de pH, del francés *pouvoir hidrogene*, poder del hidrógeno. La definición matemática de pH es:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Y se acostumbra definir también:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

Y análogamente:

$$pK_w = -\log K_w$$

$$pK_a = -\log K_a$$

$$pK_b = -\log K_b$$

Como la $[H_3O^+]$ se relaciona con la $[OH^-]$, a través de K_w , se cumple que:

$$pH + pOH = pK_w$$

y a 25 °C:

$$pH + pOH = 14$$

Como la escala de pH es logarítmica, una diferencia de una unidad implica un cambio en la acidez de 10 veces.

El pH indica la acidez de una disolución, mientras que la fuerza del ácido está caracterizada por su porcentaje de disociación.

iii. Escala de PE

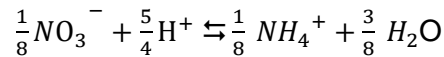
Los científicos ambientales utilizan con frecuencia el concepto de pE para caracteriza, la extensión en la que las aguas naturales son químicamente reductoras, por analogía a la forma con la que se usa el pH para caracterizar su acidez (p por 'potenz'). Así pues, se define como el valor negativo del logaritmo decimal de la concentración efectiva de electrones en agua, a pesar de que los electrones (al igual que los protones) no existen como tales en disolución. Bajos valores de pE indican la presencia de sustancias con electrones fácilmente disponibles para ser empleados en procesos de reducción, es decir, indicativos de medios reductores. Valores altos de pE, en cambio, implicarían aguas con carácter oxidante. (Baeza, 2007)

$$pE = -\log[e^-]$$

A efectos prácticos, uno puede relacionar el valor de pE con el potencial de electrodo de un proceso de reducción en particular, $Ox + e^- \rightleftharpoons Red$, relacionándolo con RT/F , siendo R la constante de los gases, T la temperatura y F la constante de Faraday, de manera que a 25°C se puede escribir: $pE = E/0,0591$ que, en condiciones estándar, se transforma en $pE_0 = E_0/0,0591$. Dado que la ecuación de Nernst establece que $E = E_0 - RT/nF \ln Q$, con Q siendo el cociente de la reacción (consultar el seminario de equilibrio en fase gas del tema 4), entonces $pE = E_0/0,0591 - \log Q = pE_0 - \log Q$ suponiendo $n = 1$ (transferencia mono electrónica). De esta manera, la expresión de pE para cualquier semireacción en agua puede obtenerse a partir del potencial estándar de electrodo (pE_0), corregido con los correspondientes términos de concentración y/o

presión implicados en el equilibrio (Q), incluyendo el pH, para una reducción que implique el traspaso de un solo electrón (n = 1).

Por ejemplo, para el proceso de reducción de nitrato a amonio primero habría que escribir la reacción ajustada para la semireacción mono electrónica:



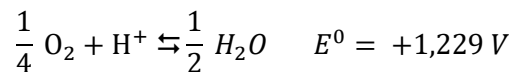
Para este proceso, $E^0 = +0,836$ V (obtenido de las tablas de potenciales de reducción estándar) siendo:

$$pE = pE^0 - \text{Log} \frac{([NH_4^+]^{1/8})}{([NO_3^-]^{1/8})([H^+]^{5/4})}$$

nótese que el agua líquida no aparece en la expresión de Q) y, por tanto, se tiene finalmente que:

$$pE = 14,15 - \frac{5}{4}pH - \frac{1}{8} \text{Log} \frac{([NH_4^+])}{([NO_3^-])}$$

todo ello sabiendo que el logaritmo de un producto es la suma de los logaritmos de los multiplicandos, que el logaritmo de un cociente es la diferencia de los correspondientes logaritmos del numerador y del denominador y que el logaritmo de una potencia es el producto del exponente **por** el logaritmo de la base. Nótese que el valor 14,15 sale de la expresión de pE0, por lo que es igual a $+0,836/0,0591$.



Al igual que con el pH, donde pueden coexistir múltiples equilibrios que ofrecen un balance final para la concentración de H+ también en un agua pueden darse distintos procesos redox, existiendo un balance global para la disponibilidad de electrones medida a través de su pE. Así, cuando se disuelve una cantidad significativa de oxígeno en un agua, es la reducción de dicho oxígeno a agua la reacción predominante y, por tanto, la que determina la disponibilidad final de electrones.

$$pE = 20,80 - pH - 0,25 \text{Log} (P_{(O_2)})$$

Al igual que en el caso anterior, el pE de esta agua puede relacionarse con la acidez y la presión parcial de oxígeno mediante la siguiente ecuación:

Así, para un agua neutra saturada de oxígeno ($PO_2 = 0,21$ atm) y sin CO_2 disuelto obtendríamos un valor de pE = 13,6. De esta forma, un agua natural no contaminada normalmente tendrá un valor de pE inferior a 13,6 y, en ocasiones, incluso negativo (esto puede tener lugar a pH altos y, sobre todo, a muy bajas presiones parciales de oxígeno en aguas anaerobias) aunque no necesariamente debido a esta ecuación. Por ejemplo,

una baja disponibilidad de oxígeno en un agua suele ser consecuencia de la actuación catalítica de microorganismos en reacciones de descomposición de la materia orgánica. En estos casos, el pE puede venir determinado por la presencia de iones como nitrato o sulfato. En el caso extremo de condiciones anaeróbicas, como las que se dan en el fondo de los lagos en verano, en las ciénagas y en los campos de arroz, la disponibilidad de electrones está determinada por la proporción relativa entre el metano disuelto, que es un agente reductor, y el CO₂, que es, por el contrario, un agente oxidante. Ambos se producen por la fermentación de la materia orgánica y están relacionados a través de la siguiente semirreacción y el valor de la pE del agua controlado por esta es:

$$pE = 2,87 - pH - \frac{1}{8} \text{Log} \frac{(P_{(CH_4)})}{(P_{(CO_2)})}$$

Así, si la presión parcial de ambos gases es la misma y el agua es neutra, el valor de pE sería -4,13. De esta forma, es evidente que los niveles más bajos de un lago estratificado están caracterizados por valores negativos de pE, mientras que la capa superior está caracterizada claramente por un valor positivo.

b. Procesos Acido-Base y solubilidad en aguas naturales

Las aguas naturales contienen cantidades significativas de CO₂ disuelto como resultado tanto de la disolución del dióxido de carbono atmosférico como de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (tratada en el tema anterior). La solubilidad del CO₂ en al agua pura a 25 °C es de 1,45 g/L, y su variación con la temperatura queda reflejada en la siguiente gráfica, donde queda patente la gran solubilidad del mismo en el agua fría (tal y como le ocurre a cualquier gas, como el oxígeno ya visto en el tema anterior).

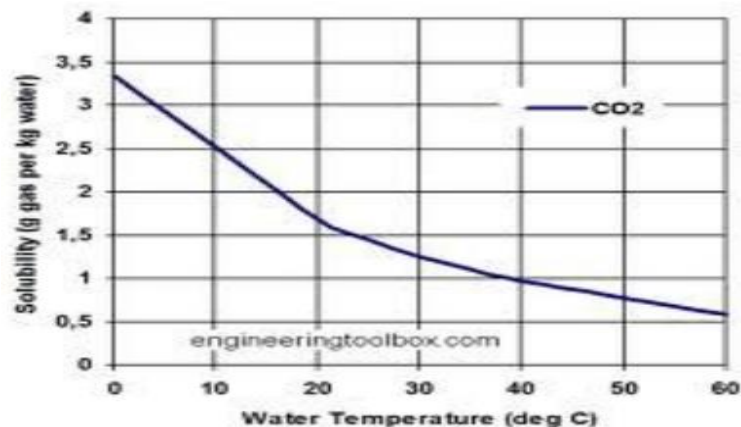
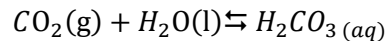


Figura 2. Solubilidad en función de la temperatura del agua.

Fuente: química de las aguas naturales; extraído de <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>

Este CO₂ que penetra en el agua genera, en primera instancia, ácido carbónico (H₂CO₃) el cual rápidamente entra a formar parte del complejo equilibrio ácido-base en el que participan las diferentes formas carbonatadas presentes en un agua. Así pues, la

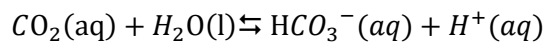
química de los procesos ácido-base de un agua natural está dominada por la presencia del ion carbonato, CO_3^{2-} que es una base moderadamente fuerte, así como del ácido débil H_2CO_3 , y de sus interrelaciones. Aunque en un agua la mayor parte del CO_2 disuelto está como CO_2 rodeado de moléculas de agua, parte estará en la forma de ácido carbónico, de tal forma que cuando se habla en general de ácido carbónico se asume también la parte del gas disuelta ($CO_{2(aq)}$), a pesar de que es esta última la forma mayoritaria en la que se encuentra. Así, podemos escribir la primera reacción de equilibrio que tiene lugar cuando el CO_2 pasa a la fase acuosa:



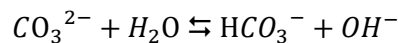
Una vez formado, el ácido carbónico se disocia parcialmente para dar bicarbonato y protones:



Aunque desde un punto de vista más formal deberíamos de decir que el CO_2 disuelto, que es un ácido de Lewis, hidroliza al agua dando protones al medio, según el proceso.



La fuente mayoritaria de bicarbonato en un agua natural no es este proceso, sino el proveniente del lavado de rocas calizas que hace que parte del carbonato que contienen pase al agua, aumentando de forma natural el pH de estas aguas, ya que hidroliza parcialmente al agua dando OH^- , lo que lo convierte en una base moderadamente fuerte.



Las aguas naturales expuestas a la caliza se denominan aguas calcáreas, ya que su contenido en carbonatos/bicarbonatos es notable. De esta forma, estas reacciones implican equilibrios que tienen lugar entre tres fases: aire, agua y rocas.

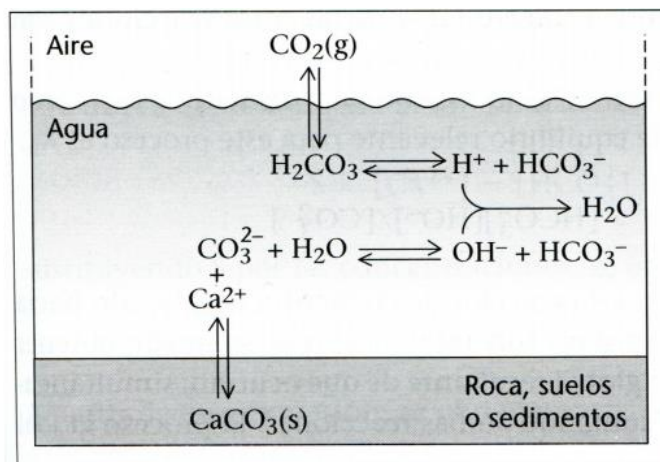
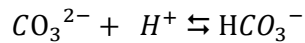
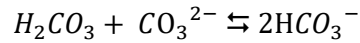


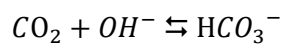
Figura 3. Equilibrios trifásicos en el sistema CO_2 /Carbonato.

Fuente: química de las aguas naturales; extraído de <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>

Pero existen más procesos químicos que interrelacionan estas especies, todos ellos conducentes a la formación de bicarbonato. Por ejemplo, la reacción directa entre el ácido carbónico (ácido) y el ion carbonato (base), según el proceso que a tenor de la 'realidad' química de las especies implicadas sería un proceso mejor visto como la reacción entre el carbonato y uno de los protones derivados de la hidrólisis del CO₂:



Y el CO₂, por su parte, puede reaccionar con los OH⁻ derivados de la hidrólisis del carbonato:



El ion bicarbonato, que se encuentra como especie química entre el carbonato y el ácido carbónico en lo que se refiere a captación de protones, puede por tanto comportarse como ácido (dando protones al medio y pasando a carbonato) o como base (captando protones del medio y pasando a ácido carbónico). Una sustancia que puede actuar tanto como ácido como base se conoce como especie anfótera. En general, un agua va a ser finalmente rica en bicarbonatos ya que todos los equilibrios conducen a su formación. Que un agua sea finalmente ligeramente básica, como es lo habitual en un agua natural, se debe básicamente a la existencia de más carbonatos en disolución que ácido carbónico, lo que hace que el grado de hidrólisis para dar OH⁻ sea superior. Así, tendríamos a las tres especies carbonadas ligadas a través de su disociación en agua, junto con los procesos de hidrólisis ligados tanto al carbonato como al ácido carbónico.

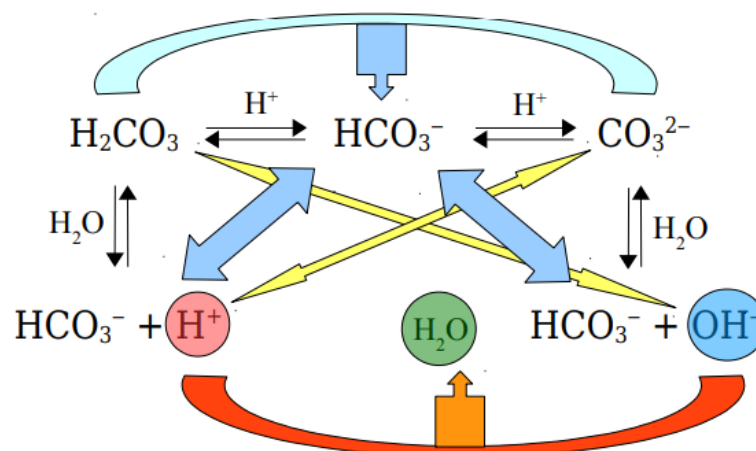


Figura 4. Procesos de hidrólisis.

Fuente: química de las aguas naturales; extraído de <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>

i. Índice de dureza de un agua natural:

Como parámetro de medida ahora de ciertos cationes presentes en muestras de agua natural, se utiliza comúnmente la dureza del agua como la concentración total de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , que son las dos especies principales responsables de la misma. Según esto, un agua calcárea es dura. Químicamente se define como:

$$\text{Dureza} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

Experimentalmente, la dureza se determina valorando una muestra de agua con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA, de sus siglas en inglés), que es una sustancia que forma complejos estables con cationes divalentes de forma tetradentada. Tradicionalmente, esta dureza se expresa como la masa en mg/L de carbonato cálcico que contiene el mismo número de cationes divalentes (+2). Es decir, que aunque se determina la concentración molar de $[\text{Ca}^{2+}]$ y $[\text{Mg}^{2+}]$ conjuntamente, suele expresarse como si todo fuese Ca^{2+} y bajo la forma de carbonato ya que este análisis no permite distinguir entre ambos cationes.

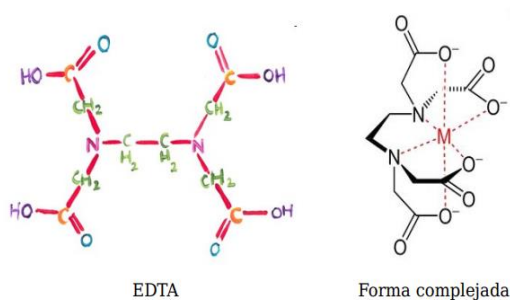


Figura 5. Estructura del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

Fuente: química de las aguas naturales; extraído de <https://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf>

Los resultados son comparables si todo el mundo emplea la misma forma de operar que, al final, no es sino un convenio como cualquier otro. Así, si como resultado de nuestra valoración con EDTA llegamos a establecer de que $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ es igual a 0,001 M, dado que el carbonato cálcico tiene un peso molecular de aproximadamente 100 g/mol, podríamos decir que la dureza de nuestra agua es de 0,1 g/mol, o sea, 100 mg/L de CaCO_3 . El mayor aporte de Ca^{2+} a un agua natural viene no solo de la disolución de la caliza (CaCO_3) sino de depósitos minerales de CaSO_4 . El origen de la mayoría del Mg^{2+} presente son las dolomías $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$. Una cierta dureza en el agua es deseable, por ejemplo, en el lavado, ya que los iones calcio y magnesio forman sales insolubles con los aniones de los jabones, formando espumas más consistentes. Se ha mencionado que existen casos de suelos que contienen poco o ningún carbonato. Esto hace que pasen al agua pocos iones divalentes, por lo que finalmente se obtienen aguas blandas. Sin embargo, se pueden dar casos en los que, siendo el agua blanda, la alcalinidad sea muy elevada; por ejemplo, si las aguas contienen altas cantidades de

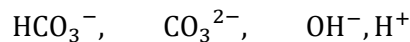
carbonato sódico. Se cree que puede existir una correlación entre el consumo de aguas duras y una menor tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, quizá relacionada con el hecho de un menor consumo de Na^+ . En cualquier caso, un agua embotellada de mineralización débil no debería suponer riesgo alguno para el organismo.

ii. Alcalinidad

La Alcalinidad de una solución se define en forma operacional como “La capacidad para Neutralizar Ácidos” o como “La cantidad de Acido por litro que se requiere para disminuir el pH a un valor aproximado de 4,3”

La Alcalinidad en la mayor parte de las aguas naturales superficiales está determinada principalmente por el sistema Carbonato.

Es decir:



Como la mayor parte de las aguas naturales presentan valores de pH entre 6 y 9, y la principal especie que contiene H_2CO_3 en este intervalo es el HCO_3^- , la alcalinidad se equipará a la concentración de Bicarbonato.

Los tipos de Alcalinidad

Debido a que la Alcalinidad depende del sistema Carbonato existente en la muestra, esta puede clasificarse:

Alcalinidad a La Fenolftaleina o Alcalinidad Cáustica

Definida como la cantidad de ácido fuerte (Moles/L), necesaria para disminuir el pH de la muestra a $\text{pH} - \text{CO}_3^{2-}$

Alcalinidad de Carbonatos

Definida como la cantidad de ácido fuerte (Moles/L), necesaria para disminuir el pH de la muestra a $\text{pH} - \text{HCO}_3^{2-}$

Alcalinidad Total

Definida como la cantidad de ácido fuerte (Moles/L), necesaria para disminuir el pH de la muestra a $\text{pH} \text{CO}_2$

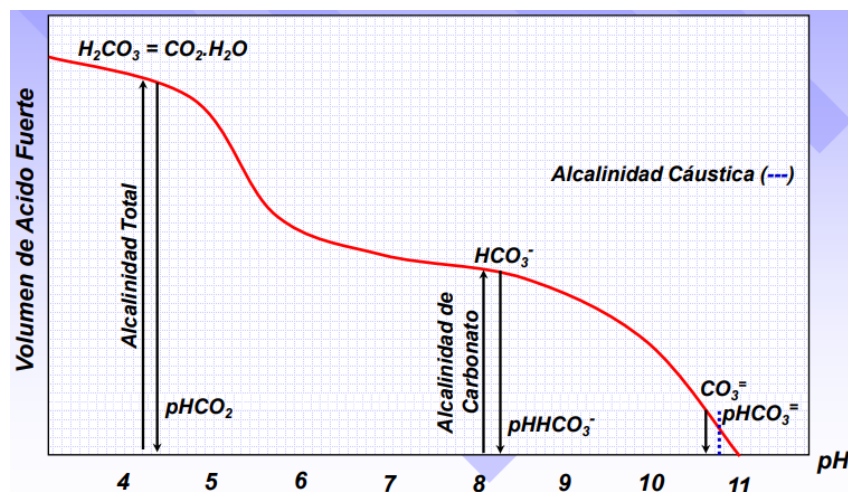


Figura 6. Sistema de reacción de carbonatos que ocurre en una titulación potenciométrica por volumetría con un ácido fuerte (HCl 0.1 N) (Tomado de Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), s.f.

1.2.2 Contaminación del agua.

La contaminación del agua es la modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural” (Carta del agua, Consejo de Europa, 1968).

Las fuentes de contaminación, denominadas también, efluentes contaminantes que utilizan como insumo el agua, y presentan elementos y sustancias con característica física, química y bacteriológica que afectan las condiciones del cuerpo receptor o componente ambiental donde son vertidos; como, por ejemplo:

- Vertimiento de aguas negras o servidas a los ríos, lagos o mar.
- Vertimiento de basuras y desmontes en las orillas del mar, ríos y lagos.
- Actividades informales y clandestinas en las orillas de los ríos: curtiembre, fundición de baterías de autos recicladas.
- Los efluentes líquidos que provienen de las distintas actividades de los sectores productivos (labores de excavación, planta de tratamiento de aguas residuales, derrames de aceites, productos químicos como fertilizantes agrícolas y plaguicidas, etc.

En los países desarrollados, el 70 por ciento de los desperdicios industriales se vierten a las aguas sin ser tratados, contaminando el suministro de agua potable. De media, se utilizan 99 millones de libras (45 millones de kilogramos) de fertilizantes y productos químicos cada año. Portland, Oregon, está fomentando activamente los tejados verdes y las calles verdes para evitar desbordes del alcantarillado hacia el Río Willamette. Chicago, Ollinois, tiene ahora más de 517,000 acres (209,222 hectáreas) de tejados con flora, más que cualquier otra ciudad de los EEUU que están ayudando a

atraer el agua de las tormentas, refrescar el ambiente urbano, y proporcionar trabajo a los jardineros de dichos tejados. (Redacción National Geographic, 2011)

Mientras la tecnología mejora, los científicos son capaces de detectar más elementos contaminantes, y en cantidades más pequeñas, en los depósitos de agua dulce de la Tierra. Nuestros lagos, ríos, arroyos y depósitos subterráneos contienen a menudo un coctel químico que incluye desde píldoras anticonceptivas, cremas solares, pesticidas y hasta petróleo.

Además de la contaminación sintética, el agua dulce también es el punto final de nuestros desperdicios biológicos, en forma de aguas residuales, excrementos animales, y agua de lluvia mezclada con fertilizantes ricos en nutrientes provenientes de jardines y granjas. Esos nutrientes se abren camino a través de los ríos hacia los mares, en ocasiones creando zonas sin oxígeno y por ello sin vida en las zonas costeras de los océanos, y causando que la conexión entre tierra y mar sea dolorosamente obvia. Cuando echas pintura al retrete, a menudo acaba en el océano, a través de los conductos de agua dulce.

En el mundo desarrollado, la regulación ha restringido el vertido de contaminantes a la industria y a los procesos agrícolas en los lagos, arroyos y ríos. La tecnología también ha ofrecido soluciones como costosas filtraciones y plantas de tratamiento que convierten nuestra agua potable en agua para su consumo saludable. Algunas ciudades están promoviendo la infraestructura “verde”, como son tejados verdes y jardines de lluvia, como maneras de filtrar la contaminación de manera natural. Pero podemos observar otra realidad en partes del mundo subdesarrollado, donde hay menos infraestructura política, económica y técnica para tratar con el aluvión de amenazas contaminantes para el agua dulce y todas las especies que dependen de ella.

Es importante considerar las principales acciones que se han propuesto para abordar la problemática de escasez de agua de consumo doméstico. En esta línea, es importante promover la adaptación y tomar acciones que mejoren la oferta de agua para los consumidores (Kundzewicz *et al.* 2008).

1.2.3 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, en cumplimiento de los valores límite y los límites máximos permisibles de la normatividad nacional, en temas de medio ambiente, principalmente en la década de los 90. 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 las siguientes normativas:

- Constitución Política del Perú de 1993.
- Ley Marco para el crecimiento de la Inversión Privada, D. L. N° 757.
- Ley General de Aguas D.L N° 17752.
- Ley General de Salud D.L N° 26842.
- Ley Orgánica de Aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales, Ley N° 26821.
- Ley N° 26839, sobre la Conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad Biológica.
- Ley General de Residuos Sólidos N° 27314.
- Ley General del Ambiente N° 28611.

Estas son las principales normas para el ordenamiento jurídico de la gestión de los recursos hídricos y específicamente de la calidad de las aguas en el país.

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. El SENAMHI conjuntamente con otras 27 instituciones del sector público, privado y académico, han venido conformando este grupo de trabajo, participando de reuniones periódicas y talleres con el fin de determinar los ECA.

1.2.4. El agua y la salud humana.

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza.

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico.

La salud humana depende del agua de buena calidad. Conforme a la OMS, casi una cuarta parte de las camas de hospital disponibles en todo el mundo están ocupados por pacientes cuya enfermedad se debe principalmente al agua no saludable (Robles, et al 2018)

Los patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema global que exige control urgente. Las bacterias, virus y parásitos causan enfermedades de diversa gravedad, su presencia en el agua es asociada con la contaminación fecal y una indicación de tratamientos inadecuados o contaminación posterior (Robles, et al 2018).

Varios estudios han reportado contaminación por coliformes en agua potable suministrada. Entre estos, Taylor y Cordón, concluyeron que el agua de pozo de una comunidad en Nicaragua es no apto para consumo humano. Bracho-Fernández y Fernández-Rodríguez, informaron que, desde un punto de vista bacteriológico, las principales fuentes de abastecimiento una comunidad venezolana está contaminada en exceso de valores seguros establecidos En todos los casos, bacteriológicos.

En la Ciudad de México, el agua se abastece principalmente de pozos, seguido por el Sistema Cutzamala, el río Magdalena y muelles. Se suministra un promedio de 32 m³ / s para abordar el Demanda de agua de los habitantes de la Ciudad de México. De esto, el 67% es obtenido del agua subterránea; 3% de muelles y 30% de El Sistema Cutzamala (Robles, et al 2018).

Los diferentes tipos de roca que componen el mexicano El marco geográfico de la República confiere diferentes cualidades al agua circundante; por ejemplo, rocas ígneas ácidas, como los que se encuentran en la Sierra Madre oriental, generalmente hablando agregue elementos químicos (hierro, manganeso, fluoruro, arsénico y otros), que ingresan al suministro de agua potable sistemas. La presencia de estos elementos ha ido en aumento. a través del tiempo. Es evidente, por lo tanto, que el llamado agua dulce generalmente no se adhiere a una calidad universal en términos de elementos químicos y compuestos disueltos en el mismo (Robles, et al 2018)

Debido a la importancia de este líquido vital y lo anterior, la calidad del agua para consumo humano debe ser regularmente evaluada ya que está cambiando constantemente como resultado de ambos contaminantes naturales y de origen antropogénico. (Robles, et al 2018)

1.3. Marco conceptual:

1.3.2. Temperatura del agua:

La temperatura es un parámetro muy importante ya que influye en la obtención de Resultados confiables en el campo o en el laboratorio. La variación de la temperatura del agua depende del clima local y en las influencias del entorno.

1.3.3. Potencial Hidrógeno (pH):

Es una expresión del carácter ácido o básico del agua u otra sustancia líquida, determinada por el número de iones hidrógeno presente. Su importancia radica dependiendo del valor de pH puede limitar la posibilidad de vida acuática y muchos usos del agua.

Medición: Lo mejor es que el pH sea determinado in situ. El método de medición usado es el electrométrico debido a su facilidad y exactitud.

1.3.4. Conductividad Eléctrica (CE):

Es la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica. Esta capacidad depende de los iones presentes en el agua debido a la división de sales inorgánicas, ácidos y bases. Su importancia, nos permite verificar en forma rápida la variación el contenido de sales disueltas en aguas superficiales y estimar cuantitativamente los sólidos totales disueltos (TDS) en una muestra de agua. Así mismo los cambios en la conductividad nos pueden indicar intrusión salina u otras fuentes de contaminación. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos.

Medición: El método de medición más usado es el potenciométrico debido a su facilidad y exactitud. Se recomienda medir in situ.

1.3.5. Oxígeno Disuelto (OD)

Es el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, proveniente principalmente del oxígeno absorbido de la atmósfera por el movimiento constante del agua como los oleajes, saltos y rápidos. Otra fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis del fitoplancton, las algas y las plantas acuáticas (eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno). La importancia del oxígeno en el agua es vital para la vida acuática (peces, plantas, bacterias aerobias, etc.), por ello la falta del mismo es dañina para ella. Así mismo, la falta de oxígeno disuelto es un indicador de contaminación que puede estar en función de la presencia de plantas acuáticas, materia orgánica oxidable,

de organismos y de gérmenes aerobios, existencias de grasas, de hidrocarburos, de detergentes, etc.

Medición: El oxígeno disuelto (OD) debe medirse in situ ya que las concentraciones pueden cambiar en un corto tiempo, para realizar mediciones muy exactas, se debe considerar el método potenciométrico

Capítulo II: METODOLOGÍA

Campo

Se consideró las etapas de pre monitoreo correspondiente a la planificación además se incluyó la validación *in-situ* de los puntos de monitoreo, con apoyo del personal encargado de captación de agua en cada provincia, considerando la zona de muestreo, los lugares de acceso correspondientes, la codificación del punto de muestreo, preparación de materiales y equipos e indumentaria de protección; en cada una de las provincias de acuerdo al protocolo nacional para el monitoreo (ANA, 2016).

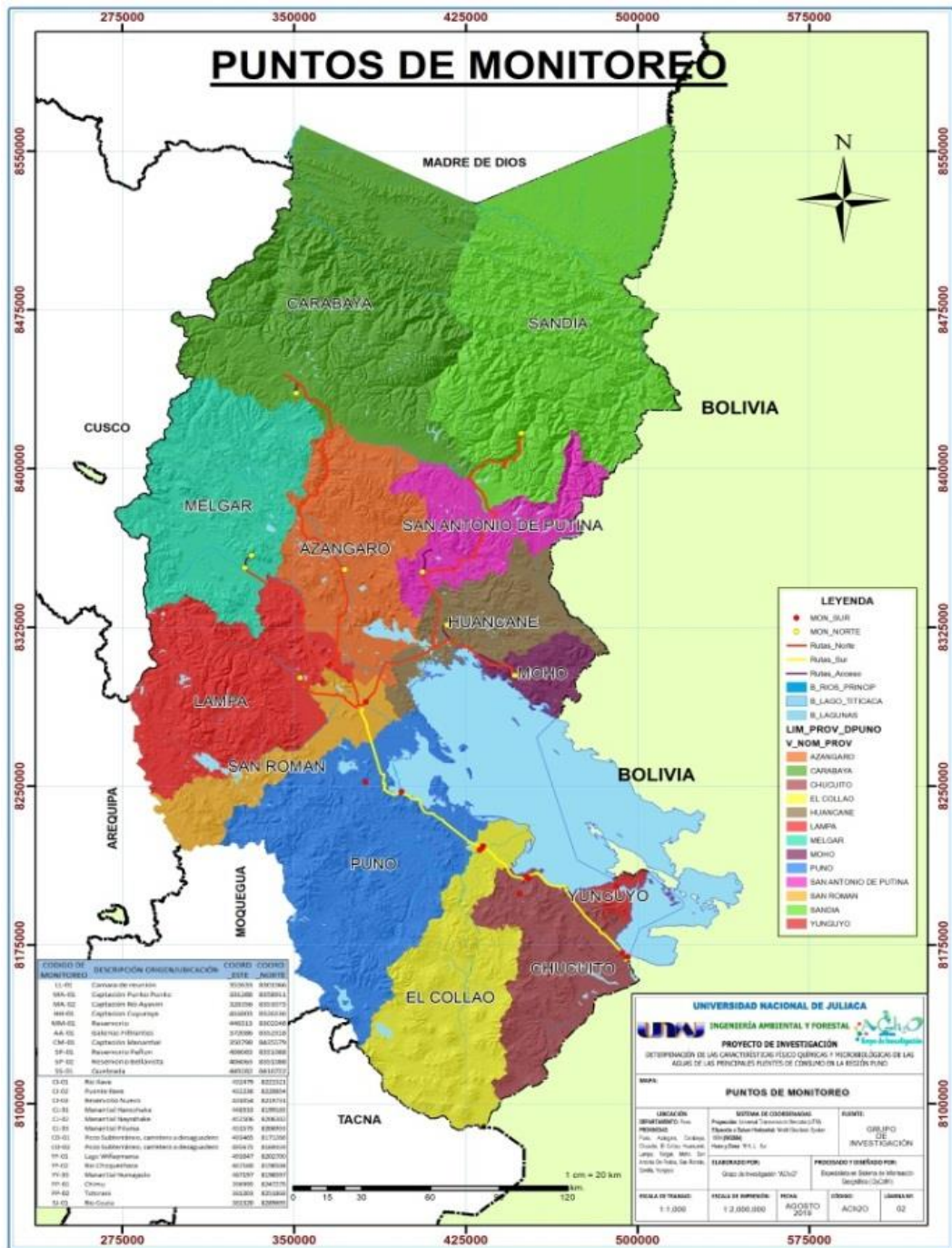


Figura 7. Puntos de Muestreo de la zona sur y norte (Fuente: Elaboración propia).

La validación de los puntos de monitoreo del 08 al 20 de febrero del 2019 de forma paralela, tanto en la zona sur y norte de la región de Puno de acuerdo al siguiente cronograma:

Zona Sur

- 08 y 11 de febrero – validación provincia de Puno
- 09 al 10 de febrero – validación provincia de El Collao
- 12 y 14 de febrero – validación provincia de Chucuito
- 13 al 15 de febrero – validación provincia de Yunguyo
- 19 al 20 de febrero – validación provincia de San Román

Zona Norte

- 10 al 11 de febrero – validación provincia de Lampa
- 11 al 12 de febrero – validación provincia de Melgar
- 12 al 13 de febrero – validación provincia de Huancané
- 13 al 14 de febrero – validación provincia de Moho
- 14 al 15 de febrero – validación provincia de Azángaro
- 15 al 16 de febrero – validación provincia de Carabaya
- 17 al 18 de febrero – validación provincia de San Antonio de Putina
- 18 al 19 de febrero – validación provincia de Sandía

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. Además, se elaboró los formatos de lista de materiales, registro de datos de campo, etiqueta para los frascos de muestra y cadena de custodia los cuales se adjuntan en los anexos.

En el monitoreo, 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.

Zona Sur

En la zona sur de la región de Puno se realizó la toma de muestras desde el 25 de marzo al 04 de abril teniendo el siguiente resumen:

25 al 27 de marzo – muestreo provincia de El Collao, donde se realizó el muestreo de 3 fuentes de captación previamente ubicados, los cuales son: Rio llave muy próxima al punto de captación de la planta de tratamiento de agua potable llave, fuente Subterránea (pozo) cerca del puente llave y como tercer punto se tomó la muestra del reservorio antes del abastecimiento a la población.

27 al 29 de marzo – muestreo provincia de Chucuito, se realizó el muestreo de 3 puntos de captación ubicados anteriormente, los que son: manantial Hankohaque y la cámara de reunión de los manantiales Nayrahaque y Piluma.

01 al 02 de abril – muestreo provincia de Yunguyo, se realizó la toma de muestras en 3 puntos de captación, los que están ubicados en rio Choquechaca, manantial Choquechaca y el lago Wiñaymarca.

03 al 04 de abril – muestreo provincia de Puno, se realizó el muestreo en dos puntos de captación ubicados en la fuente de captación denominada Chimu y en el rio Totorarini.

03 al 04 de abril – muestreo provincia de San Román, se realizó el muestreo en el rio Coata, cerca del tubo de captación de SEDA-Juliaca.

Zona norte

En la zona norte de la región de Puno se realizó la toma de muestras desde el 18 de junio al 17 de julio del 2019, de acuerdo al siguiente cronograma establecido:

18 al 19 de junio – muestreo provincia de Lampa, donde la captación de agua es mediante galerías filtrantes, y la toma de muestras se realizó en la cámara de reunión.

20 al 21 de junio – muestreo provincia de Melgar, se muestreo en los dos puntos de captación ubicados previamente; en el rio Ayaviri y quebrada Punko Punko las muestras se tomaron antes de que ingrese a las filtraciones de arena.

1 al 02 de julio – muestreo provincia de Huancané, se realizó el muestreo en el manantial Cuyuraya,

02 al 03 de julio – muestreo provincia de Moho, se realizó el muestreo en el reservorio antes del abastecimiento a la población.

08 al 09 de julio – muestreo provincia de Azángaro, se realizó el muestreo en la unión de las galerías filtrantes antes de la cámara de bombeo de la EPS Nor Puno

10 al 11 de julio – muestreo provincia de Carabaya, se realizó el muestreo en la cámara de unión de los manantiales.

15 al 16 de julio – muestreo provincia de San Antonio de Putina, se realizó el muestreo en los reservorios de captación de Peñon y Vellavista.

16 al 17 de julio – muestreo provincia de Sandia, se realizó el muestreo antes del ingreso a las cámaras de filtración, en la quebrada.

En cada una de estas provincias, se hizo una visita un día antes del monitoreo para garantizar la obtención correcta de las muestras, además poder realizar estas actividades considerando que el análisis microbiológico debe realizarse antes de las 6 horas después de la toma de muestra, para una correcta obtención de resultados

Análisis Microbiológico

Primeramente, se prepararon los medios de cultivo: el caldo mFC, 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 mEndo 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 µm 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 mFC y caldo mEndo. Las placas se incubaron a 35 °C, excepto el agar mFC que se incubaron a 45 °C durante 24 horas. Se enumeraron colonias azules de agar mFC (presuntos coliformes), colonias de brillo metálico de agar mEndo (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).

La Turbidez se midió por el método nefelométrico (método 2130 B), empleando un Turbidímetro LOVIBOND TB 210 IR, para lo cual se agitó cuidadosamente la muestra. Esperando hasta que desaparezcan las burbujas de aire, y se vertió la muestra

en el frasco para análisis del equipo, el cual fue previamente calibrado con los estándares de turbiedad que contenía y siguiendo las instrucciones del fabricante.

La conductividad se cuantificó en el laboratorio utilizando un conductímetro SI-analytics LAB 945 cómo se sugiere en métodos estandarizados 2510 B.

Para la determinación de los sólidos totales (ST), se evaporó 100 mL de muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C, el aumento de peso sobre la placa vacía representó los sólidos totales.

Los sólidos disueltos totales (TDS) se determinó mediante la filtración de una alícuota de 100 mL bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio; posteriormente, el filtrado se evaporó hasta que se seque en una placa pesada y secada a peso constante a 180°C. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos en esos 100 mL de agua, posteriormente se hizo el cálculo para expresar el resultado en mg / L.

Los sólidos suspendidos totales (SST) se obtuvieron a partir del residuo retenido en el filtrado previo, mismo que se secó a un peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

Por último, la concentración de nitrato se midió en el laboratorio mediante un Espectrofotómetro UV/visible de doble haz SQ-4802. para lo cual primeramente se elaboró una curva de calibración utilizando cuatro soluciones conocidas de 2, 5, 7 y 10 mg / L de nitrato de potasio (KNO_3) diluido en HNO_3 al 1% y un blanco, midiendo la absorbancia de los patrones y muestras en los 220 y 275 nm según lo dice el método normalizado 4500 de APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

Determinación de Metales

Previamente se prepararon un blanco y cuatro soluciones conocidas del metal, muy diluidos a partir de los siguientes estándares patrón:

- Estándar de Calcio (1000 mg / L) para absorción atómica $\text{Ca}(\text{HNO}_3)_2$ 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

Para la determinación de metales se utilizó Absorción Atómica de técnica de Flama novAA 400 p de la marca Analytic Jena de procedencia alemana programando la llama de aire-óxido nitroso para calcio y llama de aire-acetileno para manganeso, magnesio, potasio y hierro; tal como lo sugiere los métodos estandarizados 3111 D y 3111 B respectivamente según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

También se instalaron al equipo lámpara de cátodo hueco, una para cada metal, las cuales fueron calentadas por cinco minutos según lo especifica las instrucciones del fabricante, adicional a eso se calentó la lámpara de Deuterio solo para el caso del Calcio.

Se determinó la absorbancia de cada patrón y blanco preparado previamente, hasta llegar a conseguir una curva de calibración con $R^2 > 0.9$.

Una vez realizada la curva de calibración se realizó la medición de la absorbancia para cada muestra por triplicado, haciéndolo de manera directa para el caso del Hierro y el Manganeso; utilizando una dilución de 1 en 10 para el caso del Potasio y una dilución de 1 en 100 para el caso del Calcio y el Magnesio.

Al obtener las absorbancias correspondientes a cada muestra el equipo transforma este dato a concentraciones en mg / L según sea el metal analizado, por último, se multiplicó por el factor de dilución según fue el caso para llegar a las concentraciones finales de cada metal.

Capítulo III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Red de monitoreo

La red de monitoreo para el muestreo y análisis correspondiente comprende 24 puntos, distribuidos en las 13 provincias de la región de Puno (El Collao 3, Chucuito 5, Yunguyo 3, Puno 2, San Román 1, Lampa 1, Melgar 2, Huancané 1, Moho 1, Azángaro 1, Carabaya 1, San Antonio de Putina 2, Sandía 1) como se indica en la tabla 1, adoptándose la codificación de cada punto 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	Rio llave			432479	8221521
CI-02	Puente llave	llave	El Collao	432236	8220854
CI-03	Reservorio Nuevo			431054	8219731
CJ-01	Manantial Hancohake			448533	8199163
CJ-02	Manantial Nayrahake	Juli	Chucuito	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			491047	8202700
YY-02	Rio Choquechaca	Yunguyo	Yunguyo	487160	8198584
YY-03	Manantial Humajalso			487197	8198597
PP-01	Chimu	Puno	Puno	396995	8247276
PP-02	Totorani			381203	8251868
SJ-01	Rio Coata	Juliaca	San Román	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	406063	8351088
SP-02	Reservorio Bellavista		de Putina	406063	8351088
SS-01	Quebrada	Sandía	Sandía	449282	8416722

* Fuente: elaboración propia a partir de los viajes de validación con ayuda de sistema de posicionamiento global (GPS).

Total, parámetros analizados

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

Fuente: 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*

Parámetros analizados en campo

Como se observa en la figura 8, los parámetros analizados in situ son: temperatura cuyos valores obtenidos en campo están en un rango de 5.30-20.50 °C, Oxígeno Disuelto cuyos resultados oscilan entre 2.43 - 8.06 mg/L siendo el menor dato obtenido en el punto de LL-01 (Lampa) y el mayor dato en el punto PP-02 (Puno), y pH resultados que están entre 6.23 (MM-01, Moho) y 8.75 (PP-02, Puno), según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano para el parámetro de pH el Límite Máximo Permisible esta entre 6.5 y 8.5, haciendo una comparación con los resultados obtenidos y la normatividad, las estaciones de muestreo MM-01 (Moho) con 6.23 pH, CD-01 (Desaguadero) con 6.4 pH, MA-01 (Ayaviri) con 6.43 pH, CI-01 (Ilave) con 6.44 pH y PP-02 (Puno) con 8.75 pH no están dentro del rango establecido.

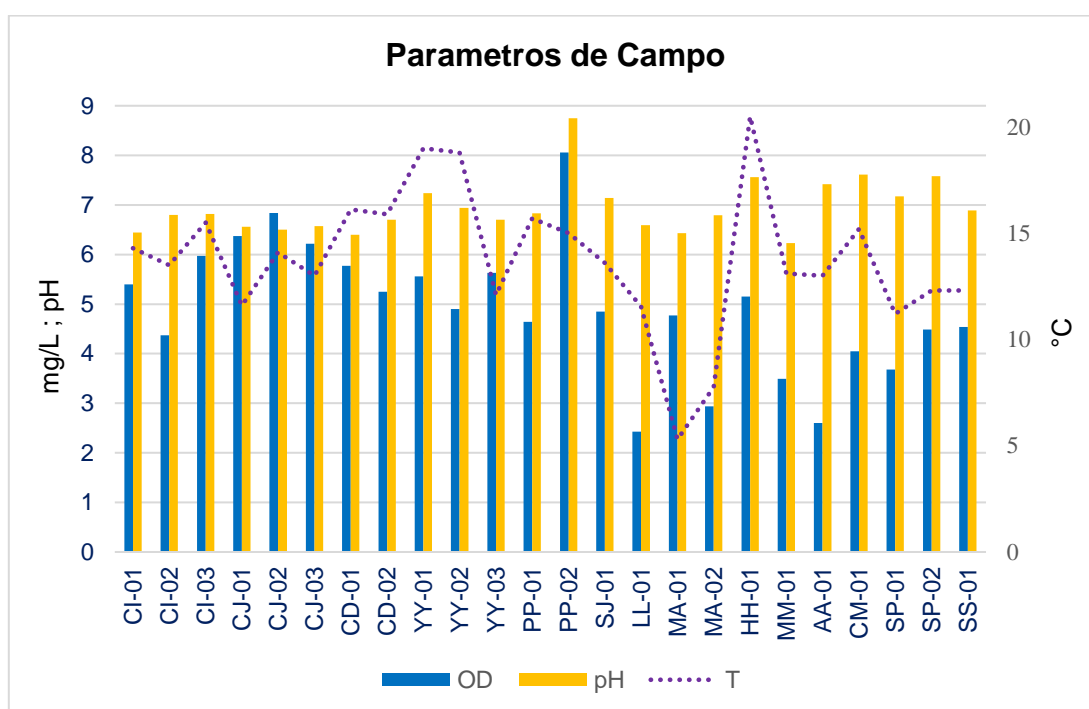


Figura 8. Resultados de parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto y pH. para todas las provincias monitoreadas.

Parámetros Fisicoquímicos

Conductividad

Como se observa en la figura 9, los valores de conductividad en los sistemas de captación de agua de la región de Puno muestran una gran dispersión. Se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental según la normativa peruana (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en el 16 % de las muestras analizadas, llegando a picos superiores de 1538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el distrito de Puno, punto de captación Chimú (PP-01) y como valor máximo registrado se encuentra el punto de captación de Yunguyo (YY-01) con un pico de 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en un 84 % de las mismas se encuentran dentro del valor recomendado por la normativa. Así mismo en la gráfica se puede observar que

el mínimo valor registrado se encuentra el punto de captación de Sandia (SS-01) con 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

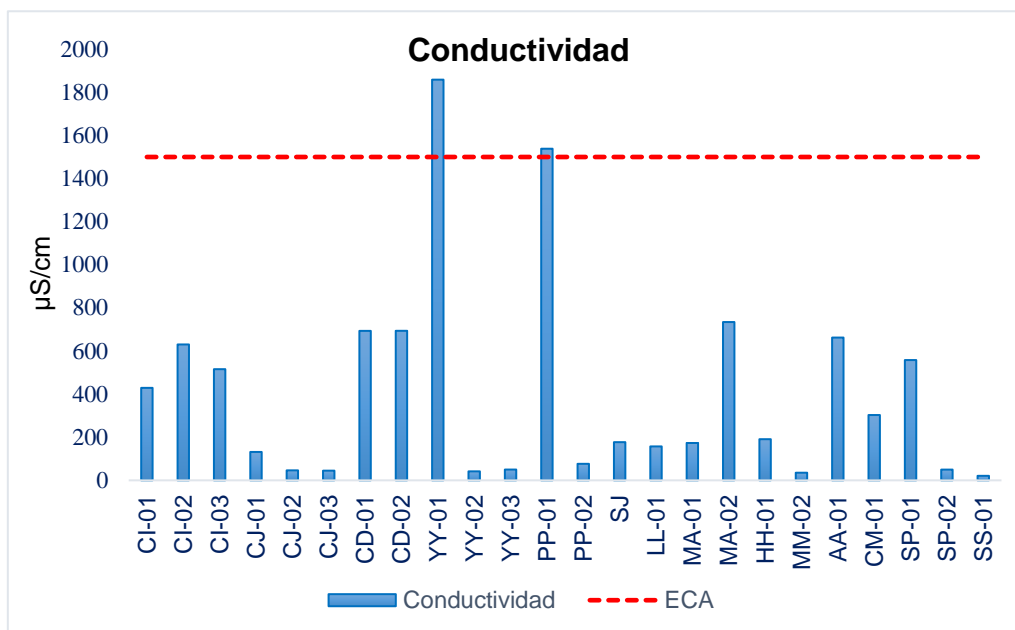


Figura 9. Resultados de parámetros fisicoquímicos: Conductividad.

Turbiedad

En un 84 % de las muestras analizadas se encuentran dentro del valor recomendado por la normativa. Como se observa en la figura 10 la menor concentración de turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) se encuentra en la ciudad de Moho (MM-01) con 0.15 UNT y la mayor concentración está en la ciudad de Juliaca, alcanzando 54.70 UNT.

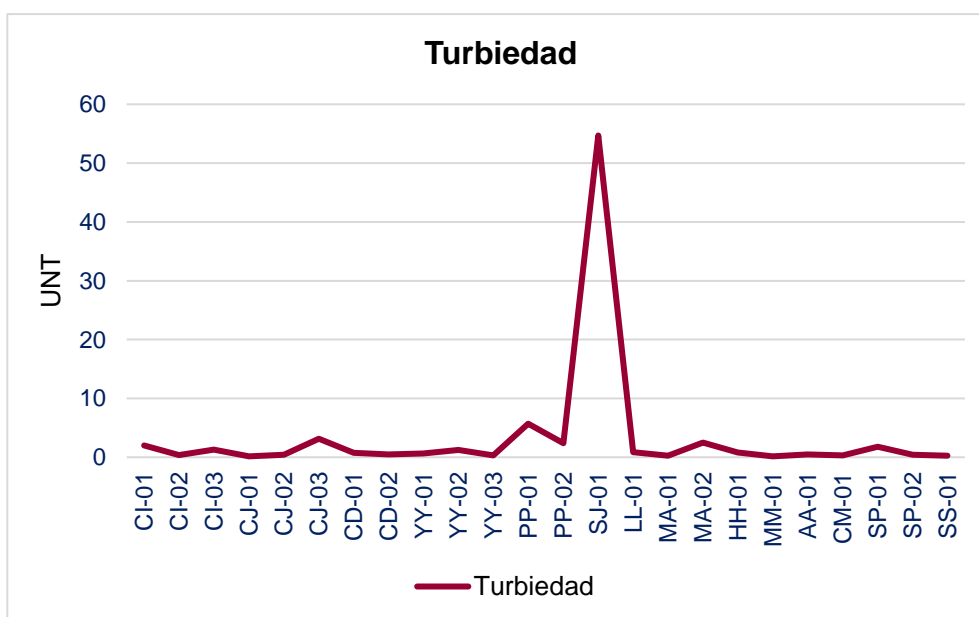


Figura 10. Resultados de parámetros fisicoquímicos: Turbiedad

Nitratos

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 como se muestra en la figura 11, 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 la ciudad Ayaviri (MA-01) con 0.020 mg/L y el valor máximo de concentración obtenido es de la ciudad de Desaguadero (CD-02) con 2.817 mg/L.

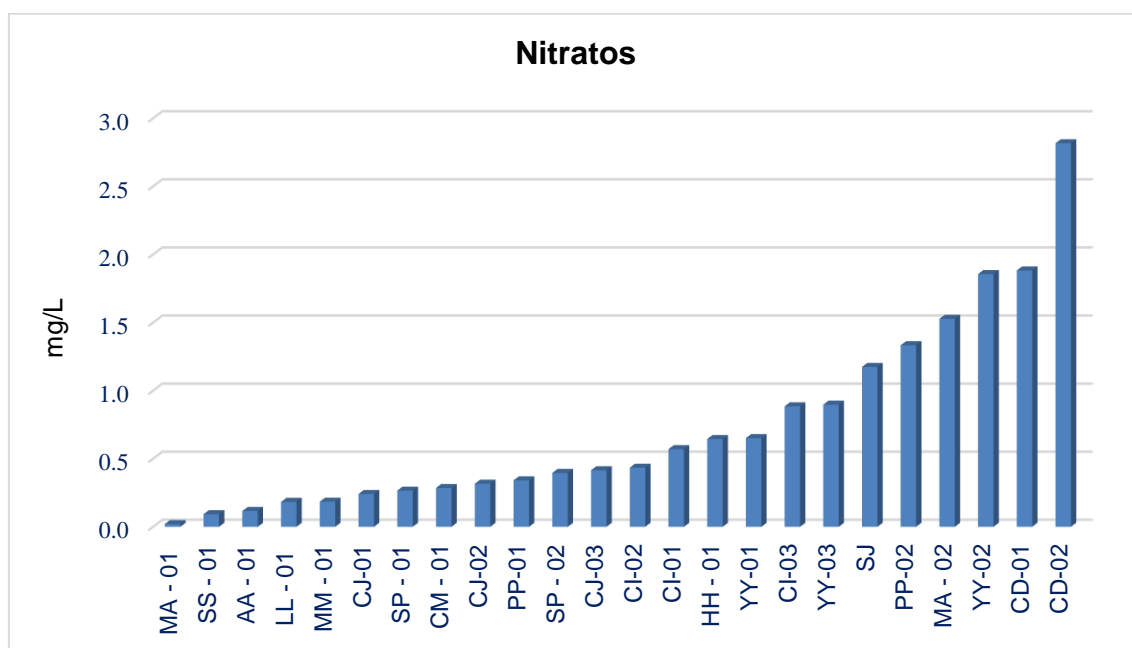


Figura 11. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: nitratos.

Sólidos Totales

Como se observa en la Figura 12, los valores registrados de Sólidos Totales analizados en laboratorio, se obtuvo como valor máximo 1130 mg/l esto en el punto de captación de Yunguyo (YY-01), seguido del punto de captación de Puno, punto de captación chimú (PP-01) con un valor de 936.67 mg/l y como el mínimo valor registrado se encuentra el punto de captación de Sandia (SS-01) con un valor de 40 mg/L, es importante señalar que para este parámetro no se encontró el valor máximo admisible en la normativa peruana (ECA), para realizar una comparación entre la normatividad y los datos obtenidos en laboratorio, así mismo se realizó una búsqueda en diferentes normativas internacionales donde tampoco se encontró un valor recomendado.

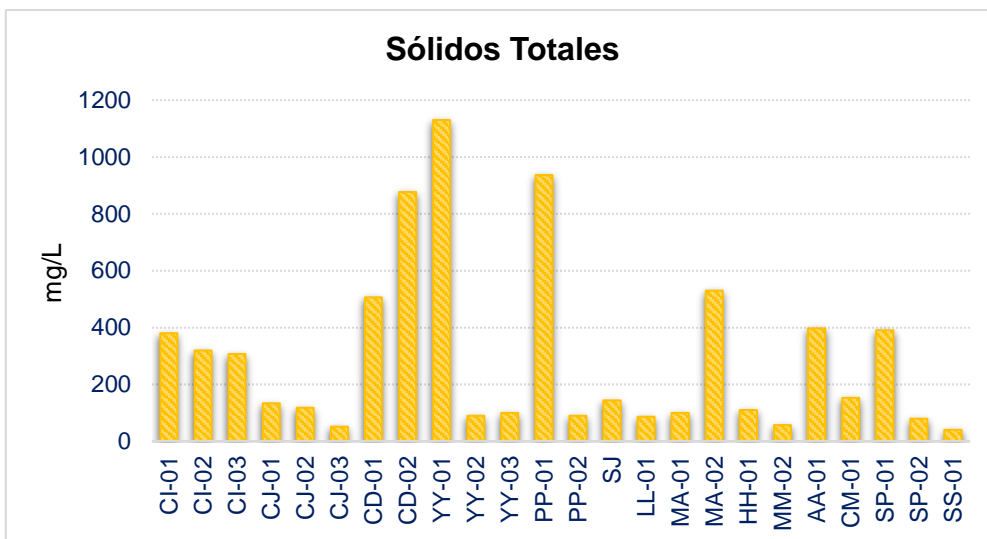


Figura 12. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Totales

Sólidos Disueltos Totales

En la Figura 13, para Sólidos Disueltos Totales la mayoría de las fuentes de muestreo analizados obtuvieron valores dentro del límite establecido por el Estándares de Calidad de Agua y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, según la normativa peruana que indica como máximo 1000 mg/l en aguas para consumo humano, en los resultados se obtuvo un pico de 1090 mg/l en los puntos de captación de Yunguyo (YY-01) valor que sobrepasa la normatividad peruana, como segundo valor máximo se encuentra el distrito de Puno, punto de captación chimu (PP-01) con un pico de 900 mg/l y como mínimo valor registrado se encuentra en el punto de captación de Moho (MM-02) con 20 mg/l. valores que se encuentran dentro de lo recomendado por la normativa nacional.

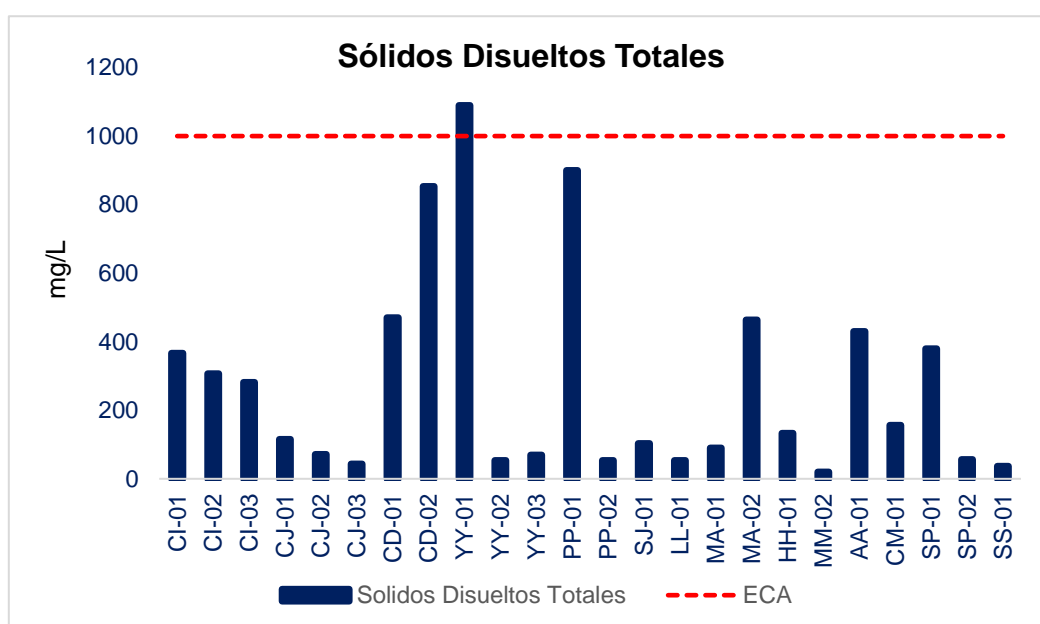


Figura 13. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Disueltos Totales

Esto indicaría que el 96 % del total de muestras analizadas de los puntos de captación de agua para consumo humano de la región de Puno se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa peruana y que solamente el 4% sobrepasan los límites establecidos. Así mismo, realizando comparaciones con normativas internacionales como la Organización Mundial de la Salud los valores obtenidos no sobrepasan los límites admisibles destinados para consumo humano.

Sólidos Suspendidos Totales

En la Figura 14, en los valores de Sólidos Totales Suspendidos se obtuvo como valor máximo 66.77 mg/L esto en el fuente de captación de la ciudad de Juliaca (SJ -01) seguido por el punto de captación de Juli (CJ-02) con un valor de 50.53 mg/L. Cabe mencionar que dentro de la normativa nacional este parámetro no está contemplado, así mismo no se encuentran en normativas internacionales para realizar una comparación de los valores obtenidos en laboratorio.

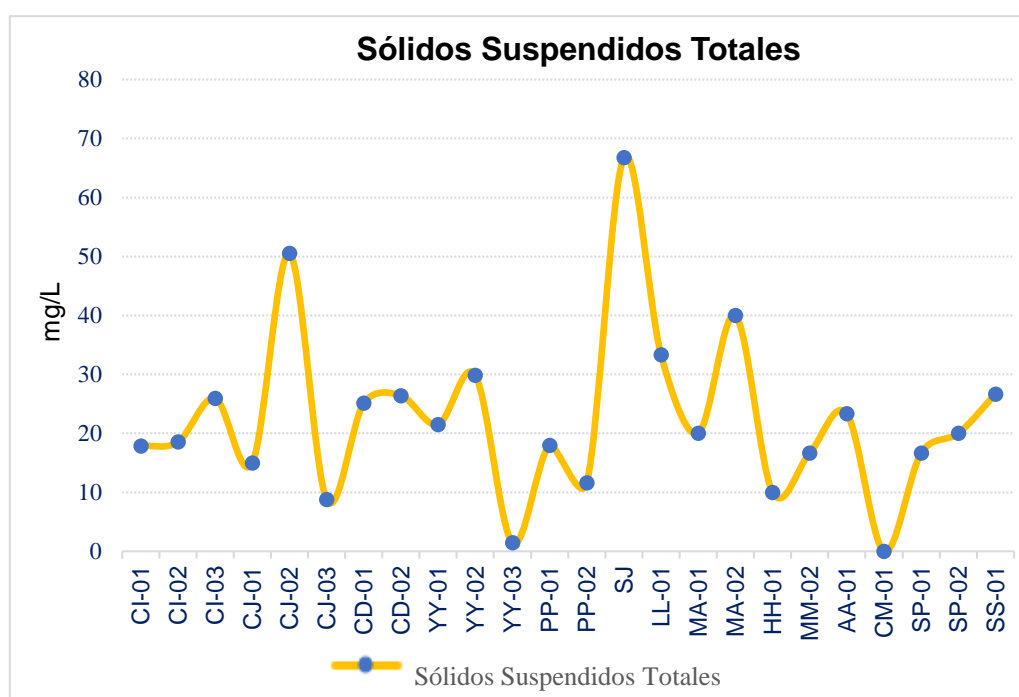


Figura 14. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: Sólidos Disueltos Totales

En la Figura 15, se puede observar un gráfico combinado, de los valores obtenidos en Sólidos (Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Suspendidos Totales) de todos los puntos de captación de la región de Puno.

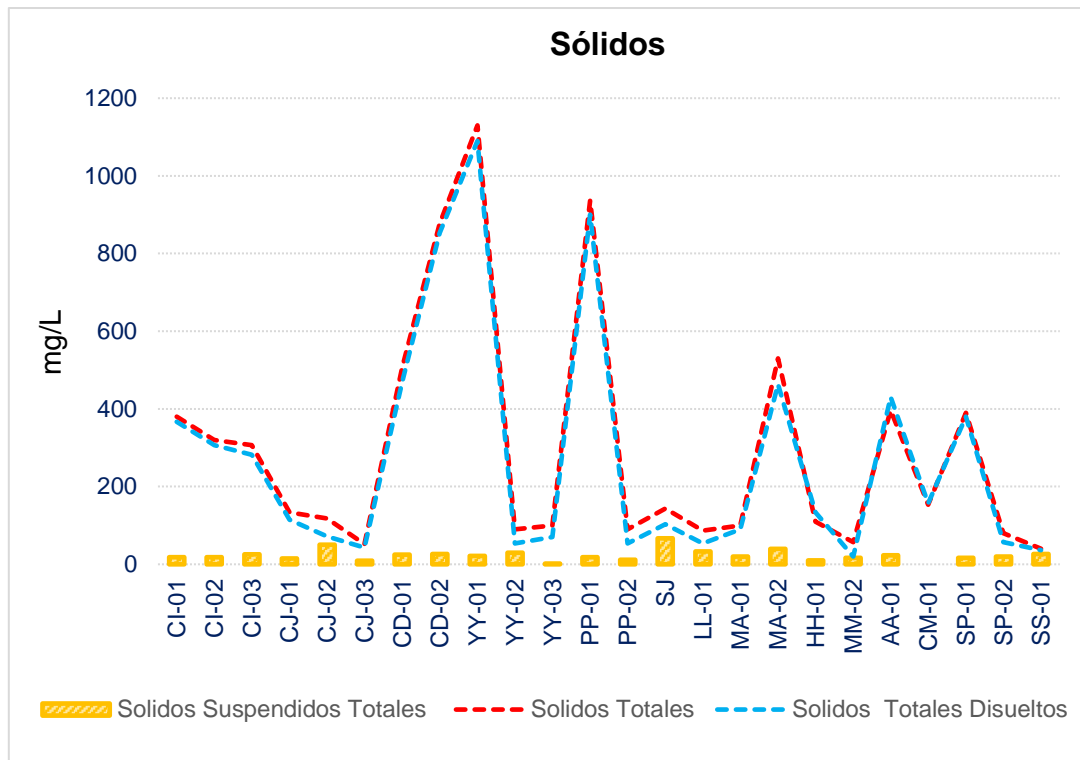


Figura 15. Resultados de parámetros fisicoquímicos: Sólidos totales, Sólidos totales disueltos y Sólidos suspendidos totales.

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 el Límite Máximo Permissible es 0 UFC/100 ml, basándonos en estos valores la mayoría de los puntos evaluados como se muestra en la figura 16, sobrepasan los límites establecidos habiendo excepciones para el Parámetro de Coliformes Totales en los puntos de muestreo YY-03 (Yunguyo), LL-01 (Lampa) y SP-02 (Putina) y para el Parámetro de Coliformes Fecales en los puntos de muestreo LL-01 (Lampa), YY-01 (Yunguyo), YY-03 (Yunguyo), CD-01 (Desaguadero), CM-01 (Macusani), MM-01 (Moho), HH-01 (Huancané), SP-01 (Putina) y SP-02 (Putina). Así mismo los valores máximos en Coliformes Totales, se encontraron en los puntos SS-01 (Sandia) con 160 UFC/100 ml y SJ (Juliaca) con 143 UFC/100 ml, y para Coliformes Fecales se encontró en el punto SJ-01 (Juliaca) con 112 UFC/100 ml.

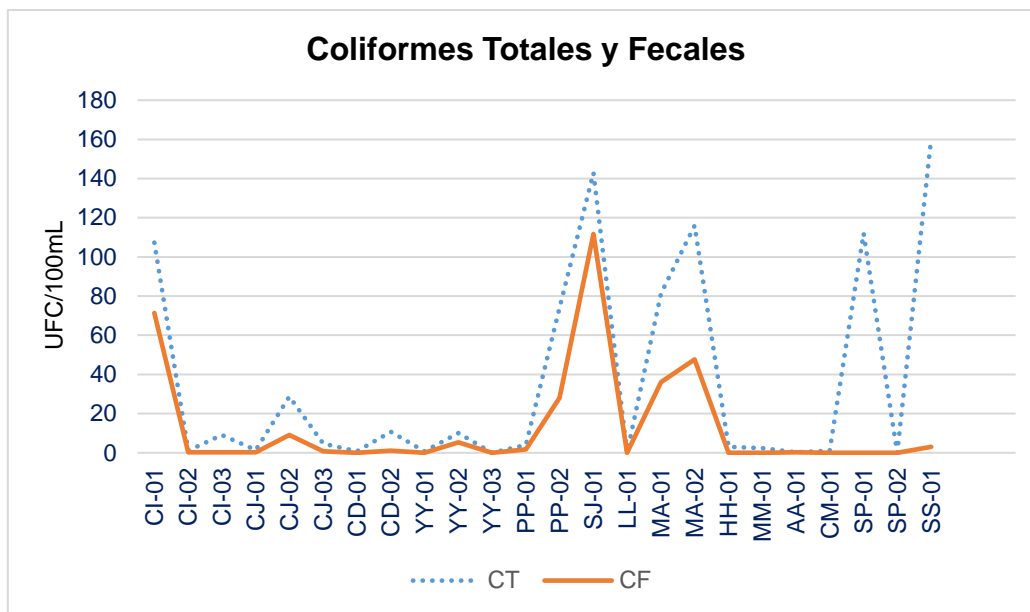


Figura 16. Resultados de parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.

Determinación de Metales

Calcio Total

Como se observa en la Figura 17. las mayores concentraciones de calcio se encontraron en Desaguadero (CD-02 y CD-01), Ayaviri (MA-02), Azángaro (AA-01), Macusani (CM-01), Yunguyo (YY-01) y Putina (SP-01) sobrepasando los 60 mg/L (llegando a 144 mg/L en MA-02, Ayaviri); mientras que por otro lado, las aguas de Juli (CJ-01, CJ-02 y CJ-03), Puno (PP-02), Juliaca (SJ-01), Moho (MM-01), Putina (SP-02) y Sandia (SS-01) están por debajo de los 20 mg/L. Muestras como las de llave (CI-01, CI-02 y CI-03), Yunguyo (YY-02 y YY-03), Puno (PP-01), Lampa (LL-01), Ayaviri (MA-01) y Huancané (HH-01) se encuentran entre los 20 y 60 mg /L.

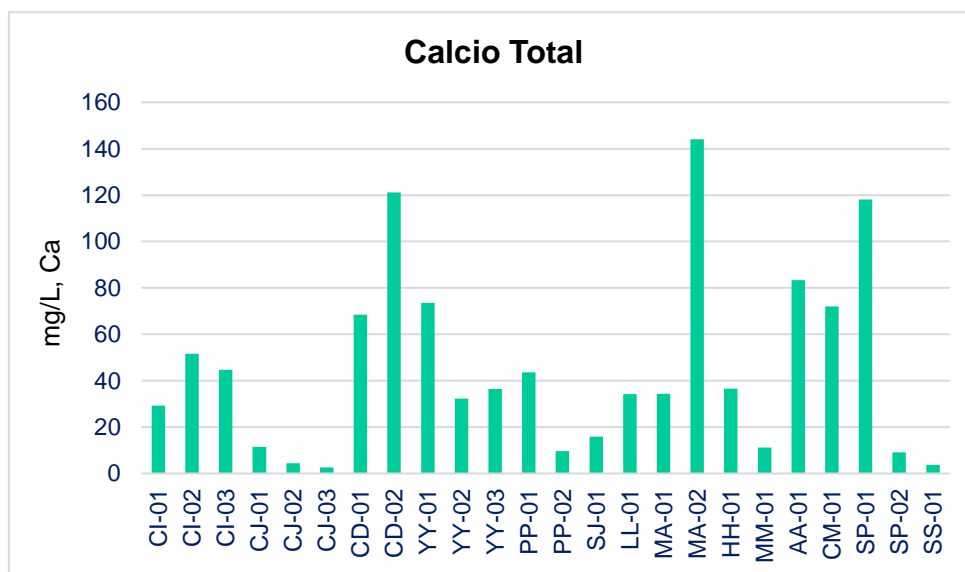


Figura 17. Resultados de parámetros metales: Calcio Total.

Estando este último grupo en aguas óptimas ya que Klevay & Combs (2004), en su trabajo concluyeron que el agua dura (con concentraciones de calcio y magnesio) es beneficiosa porque contiene nutrientes esenciales y estos nutrientes pueden disminuir el impacto de los elementos tóxicos en el medio ambiente. Ellos también hicieron hincapié en que, para disminuir el riesgo de la enfermedad cardíaca, el agua potable ideal debe ser moderadamente dura, y debe contener suficiente calcio y magnesio.

Magnesio Total

En la Figura 18 se puede observar las concentraciones de Magnesio en las muestras de Yunguyo (YY-01) con 39.38 mg/L y Puno (PP-01) con 34.51 mg/L, siendo estos puntos de muestreo los que tienen las concentraciones más altas de este metal llegando a superar la concentración de 30 mg/L. Las concentraciones más bajas se encontraron en Juli (CJ-01, CJ-02 y CJ-03), Yunguyo (YY-02 y YY-03), Moho (MM-01), Juliaca (SJ-01), Putina (SP-02) y Sandia (SS-01); los cuales no sobrepasan los 3 mg/L, destacando la muestra tomada en Juli (CJ-03) con 0.227 mg/L.

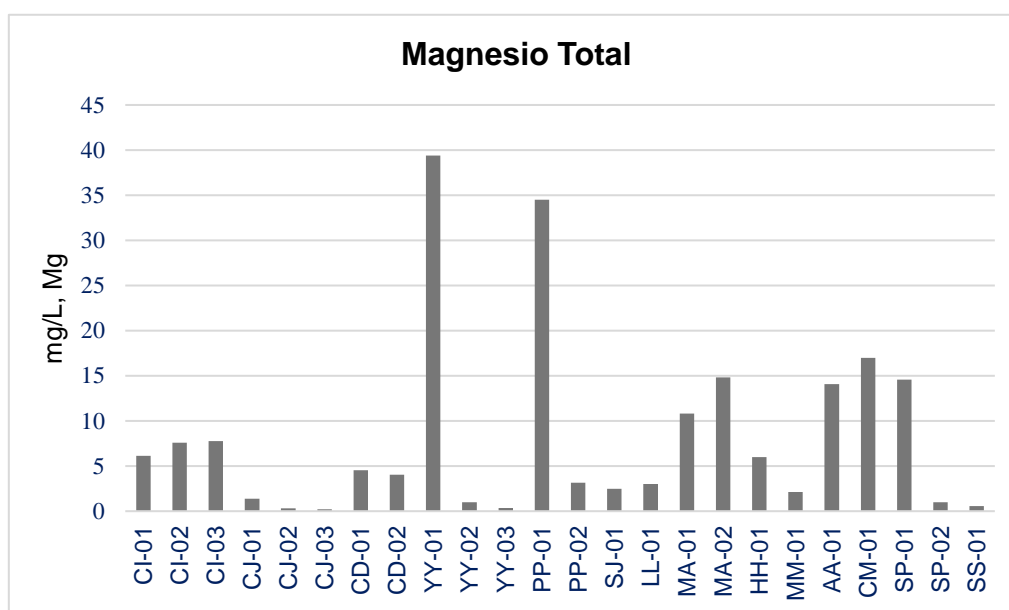


Figura 18. Resultados de parámetros metales: Magnesio Total.

Hierro Total

En cuanto a Hierro, los resultados se pueden observar en la Figura 19, según los Estándares de Calidad de Agua y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano establecen que la concentración máxima permisible para este parámetro es de 0.3 mg/L, siendo las muestras de Ilave (CI-01, CI-02 y CI-03), Juli (CJ-01, CJ-02 y CJ-03), Yunguyo (CD-02), Puno (PP-02), Juliaca (SJ-01) y Lampa (LL-01) sobrepasan los 0.3 mg/L,. Por otro lado, la muestra de Ayaviri (MA-01) tiene concentraciones menores a los límites de detección del equipo.

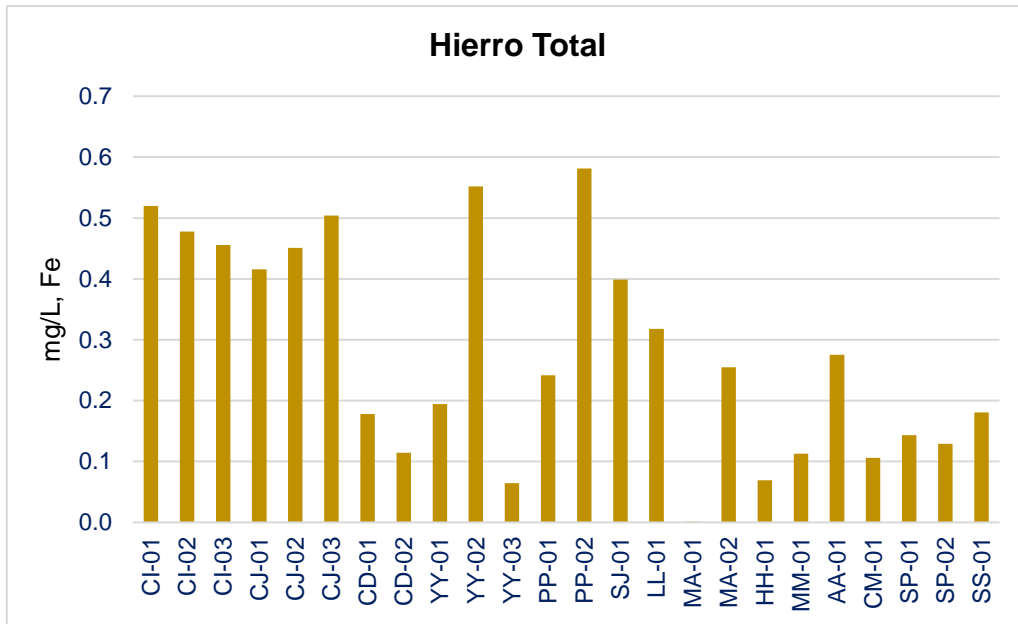


Figura 19. Resultados de parámetros metales: Hierro Total.

Manganeso Total

Los resultados de Manganeso se observan en la Figura 20, muestran que solo una muestra, la de llave (CI-02) sobrepasa los 0.4 mg/L que es el máximo valor permisible establecido en los Estándares de Calidad de Agua, el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano y límites de la OMS; mientras tanto muestras como las de Macusani (CM-01), Putina (SP-01 y SP-02) y Sandía (SS-01) están por debajo de los límites de detección del equipo.

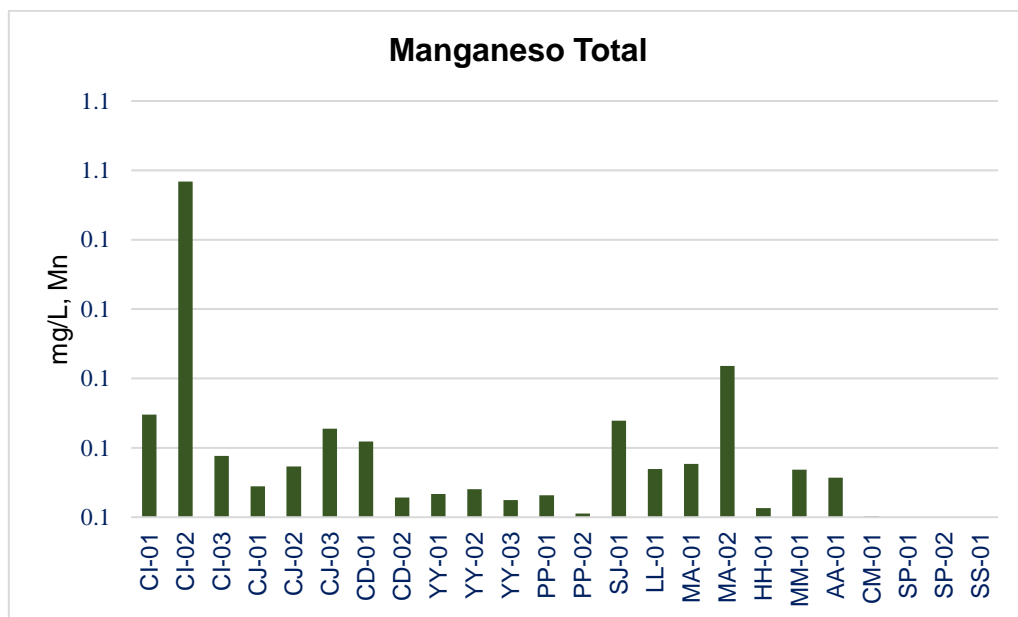


Figura 20. Resultados de parámetros metales: Manganeso Total.

El manganeso es un metal que ocurre naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas; la presencia de manganeso a concentraciones mayores a 0.1

mg/L en sistemas de abastecimiento de agua puede manchar la ropa lavada y los aparatos sanitarios (Dirección General de Salud, 2017; OMS, 2011)

Potasio Total

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 la normativa “RD 1138/1990” que actualmente está derogado donde si está incluido este parámetro, dentro de esta legislación Española la concentración máxima admisible es de 12 mg/L, basándonos en esta, de los resultados obtenidos se observan en la figura 21, muestran 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. el rango en que oscila este parámetro según los resultados obtenidos varia de 0.173 a 18.146 mg/L.

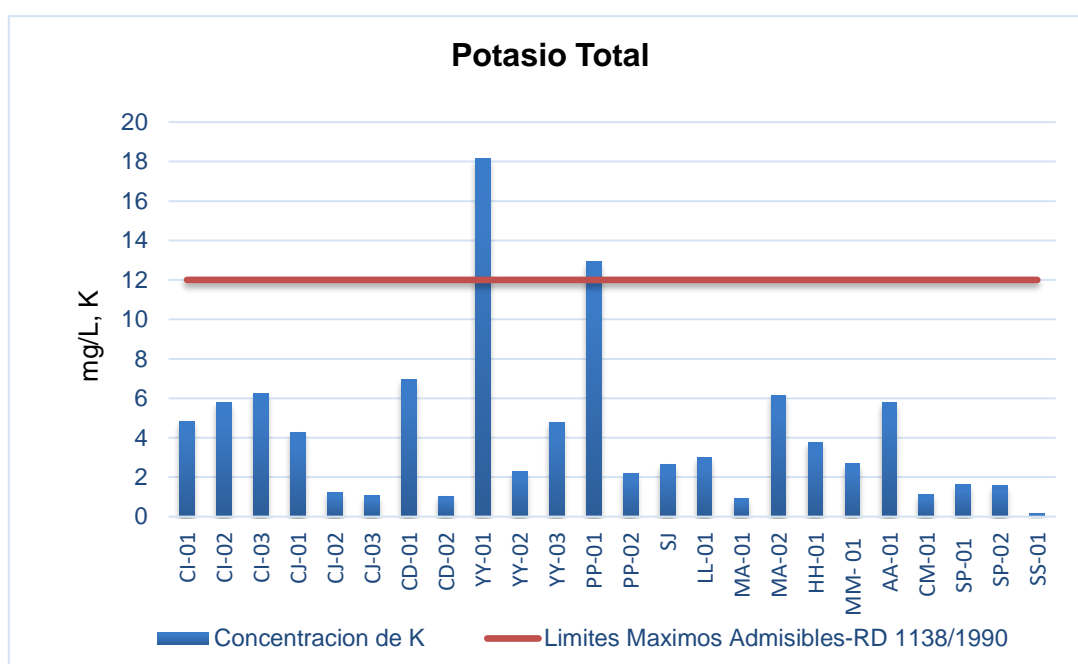


Figura 21. Resultados de parámetros metales: Potasio Total.

Discusión

El pH es un importante parámetro operativo de la calidad del agua ya que al ser excesivos afectarían negativamente la salud. El pH aceptable para agua potable varía entre 6.5 a 8.5 como valor guía (Jiménez, 2001). Según Galvín (2003), para las aguas de consumo humano, los valores extremos pueden causar irritación en las mucosas, irritación en órganos internos y hasta procesos de ulceración. El grado de corrosión y solubilización de los metales también depende del pH, la alcalinidad y la concentración de oxígeno disuelto (Neira, 2006). En la investigación realizada y con los resultados obtenidos con valores que varían en un rango de 6.23 - 8.75, la mayoría de los puntos de muestreo evaluados están dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa nacional lo que indicaría que la calidad es buena, sin embargo, para los puntos donde los valores están fuera del rango establecido se debe realizar una investigación más profunda para determinar las causas de esos resultados.

Para el parámetro de oxígeno disuelto que es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua, por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (Roldán, 2003), este parámetro también está relacionado con la temperatura ya que si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno disuelto en el agua. Según los resultados obtenidos solo el 17% cumpliría con el límite establecido por el DS-N°004-2017-MINAM., mientras que 83% de los puntos de captación analizados se encontrarían por debajo de lo establecido según este decreto. Esto indicaría un bajo nivel de calidad de agua. Según Walski (1974) utiliza las variables oxígeno disuelto, temperatura, coliformes, pH, Sólidos suspendidos, turbidez, transparencia, nitratos, fosfatos, grasas, color y olor, mediante las cuales se puede evaluar de la fuente las características organolépticas, efecto sobre la vida acuática y la salud humana.

El análisis de la determinación de la conductividad eléctrica de todas las muestras tomadas en los puntos de captación de la Región de Puno incluidas en el estudio, se realizó con el objetivo de evidenciar la presencia de electrolitos disueltos, ya que el agua pura no debería presentar conductividad eléctrica alguna, por su ausencia de electrolitos, a diferencia del agua potable, que presenta algunos electrolitos disueltos (Cabrerizo, 2008). Como se ilustra en la figura 9, la muestra de agua que presentó la menor conductividad fue el distrito de Sandía con 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}.$, y la de mayor conductividad fue la proveniente de Yunguyo con un pico de 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}.$ En la mayoría de los casos los valores están dentro de los parámetros establecidos por la normativa peruana, ya que se encuentran por debajo del valor recomendado, que es de

1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; esto quiere decir que el agua analizada no presenta riesgo para la ingesta humana a excepción del punto de captación de Yunguyo el cual que indica que tiene gran porcentaje de sales en el agua lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica.

Según De Miguel y Vázquez (2006), los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente o bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente excede de 10 mg/L. Existe un mayor potencial de contaminación con nitratos del acuífero cuando los ingresos de agua (por riego o precipitaciones) de nitratos son altos, y la remoción de agua y nitratos desde la solución del suelo por evaporación o absorción por el cultivo es baja (Picone et al., 2003). La concentración de Nitratos en la Región de Puno oscila entre 0.020 mg/L y 2.817 mg/L, las fuentes evaluadas son tanto superficiales como subterráneas, con los resultados obtenidos se observa que las captaciones de agua subterránea no superan la concentración antes mencionada por (De Miguel y Vázquez 2006), lo que indicaría que estas no están contaminadas con nitratos. La Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra (2008), menciona que las aguas superficiales reciben cantidades excesivas de nutrientes por los vertidos urbanos e industriales y el arrastre de abonos agrícolas. Los efectos en organismos acuáticos de estos compuestos nitrogenados pueden ser no sólo por su toxicidad sino también por la reducción del oxígeno disuelto (Nordin & Pommen en Beita, 2008). En el presente proyecto la cantidad de concentración de nitratos está dentro del rango establecido normativamente, lo que indica que las actividades antropogénicas no tienen un impacto significativo en la presencia de Nitratos. Por estudios efectuados por la OMS (1973), se ha detectado que los nitratos son perjudiciales para los niños, cuando su concentración en el agua es mayor de 45mg/L, puede producir metahemoglobinemia, especialmente en los niños menores de seis meses. El consumo de aguas contaminadas por nitratos y nitritos, son perjudiciales al hombre en general, debido a que, por la acción de estos compuestos con bacterias intestinales, pueden formarse nitrosaminas, las cuales a causa de su posible acción cancerogénica, resultan peligrosas al hombre (De Miguel y Vázquez, 2006). La presencia de Nitratos en las aguas de las fuentes de captación de agua potable se encuentra dentro de los ámbitos de concentraciones naturales y no representan ningún impacto en los ecosistemas acuáticos ni para la salud.

El calcio y el magnesio son minerales muy importantes y los podemos encontrar tanto en los alimentos que no están procesados, como en las aguas minerales naturales (Rodríguez, 2009). Según el Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la

Presidencia de la República y el Ministerio de Salud, la concentración de calcio se encuentra en el segundo nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado de 100 ppm y la concentración de magnesio se encuentra en el segundo nivel de control de calidad y se le establece un valor recomendado de 30 ppm y un máximo permisible de 50ppm. Según los resultados obtenidos y haciendo la comparación con la normatividad antes mencionada, hay tres puntos de captación de agua potable que sobrepasan los límites para calcio y son los puntos Desaguadero (CD-02) con 121.167 mg/l, Ayaviri (MA-02) con 144.080 mg/l, Putina (SP-01) con 118.133 mg/l y dos puntos para magnesio los que son Yunguyo (YY-01) con 39.380 mg/l y Puno (PP-01) 34.510 mg/l, lo que se inferiría que las aguas de Puno son duras. El agua dura es la que contiene un alto nivel de minerales y posee cantidades variables de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio, el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de estas sales, en base a esto se tendrían que hacer estudios en dureza para confirmar que la calidad de las aguas en la Región Puno tiene una alta concentración de dureza.

El ión potasio K^+ , corresponde a sales de muy alta solubilidad y que son difíciles de precipitar. Las aguas dulces no suelen tener más de 10 mg/L (OPS, 2012). En aguas naturales las concentraciones de potasio son elementos esenciales, para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa (Bolaños et al., 2015). En la mayoría de los puntos de muestreo las concentraciones del catión K^+ obtenidas, se encontraron dentro de los ámbitos de concentraciones naturales y no representan ningún impacto para la conservación y preservación de la vida del ecosistema acuático así también como para la salud. Según Beita (2008) las concentraciones del ion potasio en aguas naturales superficiales varían de manera considerable dependiendo de las condiciones geológicas locales y las descargas de aguas residuales, aunque puede aumentar por deposición atmosférica, escorrentía de terrenos agrícolas e influencia de drenajes de irrigación. De todos los resultados obtenidos se encontraron en dos puntos de muestreo que la concentración de este parámetro sobrepasa los límites de concentraciones naturales y la normativa con la que se está comparando, lo que indicaría que en esas aguas existen factores naturales y/o antrópicos que ocasionan el aumento de la concentración.

El hierro y el manganeso pueden darle al agua un sabor, olor y color indeseable. El hierro causa manchas rojizos-café en la ropa, porcelana, utensilios, accesorios de plomería, concretas y otros. El manganeso causa manchas café-negras en los mismos materiales. Los detergentes no remueven estas manchas. El cloro casero y los productos alcalinos (tales como el sodio y el bicarbonato) pueden intensificar las

manchas (McFarland y Dozier, 2004). Los depósitos de hierro y manganeso se acumulan en los tubos de cañerías, tanques de presión, calentadores de agua y equipo ablandador de agua. Estos depósitos restringen el flujo del agua y reducen la presión del agua. Más energía se requiere para bombear agua a través de tubos tapados y para calentar agua si los rodos de los calentadores están cubiertos con depósitos minerales. Esto aumenta los costos de la energía y el agua. Pero no son peligrosos para la salud. 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 los parámetros de Hierro y Manganeso la concentración Máxima de estos no debe exceder de 0.3 y 0.4 mg/L respectivamente, a lo que los resultados nos muestran que el 42% de puntos muestreados exceden los límites permisibles para parámetros de hierro y que solo el 4% del total de puntos muestreados exceden los límites máximos permisibles para manganeso y se tiene que tener en cuenta que según la Diresa, que estos valores son las máximas concentraciones para hierro y manganeso, ya que utilizando el tratamiento de simple desinfección no disminuirá la concentración de estos elementos en el agua, por lo que es importante evitar el exceso de concentración.

La presencia de coliformes totales además de servir como indicador de contaminación, ofrece un índice racional del contenido bacteriano del agua, el cual es necesario considerar si se llega a utilizar el agua para actividad poblacional o recreativa (Bolaños et al., 2015). Los Coliformes totales se pueden encontrar tanto en las heces como en el medio ambiente y en el agua para consumo con concentraciones de nutrientes relativamente elevadas (OPS, 2012). La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichia coli*. La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (OPS, 2012). Según los datos obtenidos de total de puntos evaluados para estos parámetros, existe la presencia de en un 83% para Coliformes Totales y 54% para Coliformes Fecales, siendo alarmantes los resultados obtenidos además indicaría que existe factores naturales y/o antropogénicos que sobrepasan la capacidad de autodepuración de las fuentes de captaciones muestreadas, los que se tienen que identificar para su intervención.

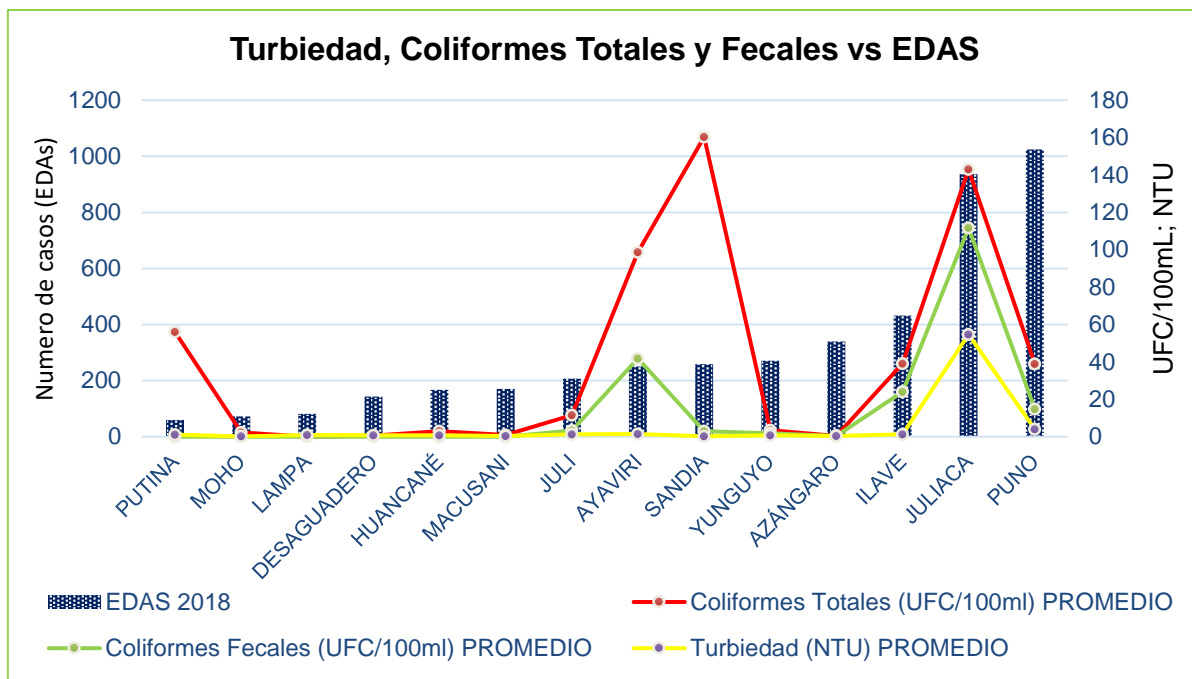


Figura 22. Correlación de los parámetros microbiológicos y las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) de la región de Puno

Con los resultados obtenidos en la investigación (Figura 22) 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 para el desarrollo de colonias bacterianas se encuentre en las redes de distribución, así mismo, el comportamiento irregular en la correlación entre coliformes y EDAs podría verse influenciado por el tratamiento del agua antes de la distribución del agua para consumo. 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 la 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 encontró 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.

Por otro lado, para el parámetro de turbidez también se observa una relación con la carga bacteriana, según Moreno y Pérez (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.

Conclusiones

Para los parámetros de campo como temperatura y pH, con datos en un rango de (5.30-20.50) °C, (6.23 – 8.75) pH, las cuales se encuentran dentro del rangos establecidos por la normatividad peruana, sin embargo, para oxígeno disuelto se encontró que el 17 % de los puntos de captación se encuentran dentro de lo recomendado por la normativa peruana. Para el parámetro fisicoquímico de la conductividad eléctrica no presentó valores fuera de lo establecido, siendo el distrito de Yunguyo (YY-01) el que presenta el valor más alto sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental con 1858 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La concentración de Nitratos en la Región de Puno oscila entre 0.020 mg/L y 2.817 mg/L, las fuentes evaluadas son tanto superficiales como subterráneos, lo que indicaría que la presencia de Nitratos en las aguas de las fuentes de captación de agua se encuentra dentro de los ámbitos de concentraciones naturales y no representan ningún impacto en los ecosistemas acuáticos ni para la salud.

Existe la presencia de un 83% para Coliformes Totales y 54% para Coliformes Fecales, siendo alarmantes los resultados obtenidos además indicarían que existen factores naturales y/o antropogénicos que sobrepasan la capacidad de autodepuración de las fuentes de captaciones muestreadas, los que se tienen que identificar para su pronta intervención.

De acuerdo a los resultados de las concentraciones de Ca en Desaguadero (CD-02), Ayaviri (MA-02), Azángaro (AA-01), Macusani (CM- 01) y Putina (SP-01) puntos de captación de agua potable que sobrepasan los 60 mg/L. Para el caso de K se encontraron que en Yunguyo (YY-01) y Puno en el punto de captación chimú (captación del lago) (PP-01) las concentraciones de este parámetro sobrepasan los límites de concentraciones naturales a la normativa internacional con la que se realizó la comparación, lo que indicaría que en esas aguas existen factores naturales y/o antrópicos que ocasionan el aumento de la concentración. Para las concentraciones de los cationes como Mg, Fe y Mn, la mayoría de los resultados obtenidos se encontraron dentro de los ámbitos de concentraciones normativamente establecidos y no representan ningún impacto en la conservación y preservación de la vida del ecosistema acuático y para la salud.

Se puede observar que existe una correlación significativa entre Coliformes Totales Fecales, 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 por la Dirección Regional de Salud, los niveles de turbidez hallados y la formación de colonias bacterianas, valores que según los Estándares de Calidad de

Agua y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano sobrepasan, sin embargo no se observa una correlación significativa entre estos parámetros para los demás distritos de la región de Puno.

Recomendaciones

Según los análisis realizados en las fuentes de captación para los diferentes parámetros, es recomendable que se adapte, desarrolle o implemente nuevas medidas necesarias para disminuir la concentración para los parámetros que sobrepasan los límites establecidos normativamente en los diversos distritos de la Región Puno.

Que se realicen monitoreos continuos en épocas de estiaje y avenida para observar el comportamiento de los resultados para los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados.

Se recomienda establecer una red de monitoreo en las redes de distribución de agua para consumo humano en la Región Puno y realizar comparaciones de calidad de agua antes y después del tratamiento y distribución del agua de consumo a la población.

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.
- Arce, A. *Contaminación de Nitratos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Efectos sobre el Medio Natural y Medidas Correctoras*. Universidad Politécnica de Madrid
- 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>
- Beita, W. (2008). *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Bolaños, J. (2014). Determination of cations in drinking water Grecia, Costa Rica by atomic absorption. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. 15(30). Pp.95-106. Universidad de Costa Rica
- Bolaños, J., Montero, N., Rodríguez, N. y Sánchez, A. (2015). Surface water quality: study of creek Estero, located in the county of San Ramón, Costa Rica. *Universidad de Costa Rica - Sede de Occidente*. 15(25), pp.61-76
- Cabrerizo, D. (2008). *Física y Química*. 1 Bachillerato. Pozuelo de Alarcón, Madrid: Editorial Editex.
- 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.

- De Miguel, C. y Vazquez, Y. (2006). Origin of nitrate (NO_3^-) and Nitrite (NO_2^-) and their influence in the Potability of the Underground Waqter. 22(3), pp.1-9 recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517652002>
- Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra (2008). Situación en Navarra de la Contaminación de las aguas por Nitratos y Pesticidas. Pamplona, Iruña.
- Galvín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
- Gerba P. y Bitton G. (1984). Microbial pollutants: their survival and transport pattern to groundwater. En: Groundwater pollution microbiology (G. Bitton y Ch. P. Gerba, Eds.). John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 65–88.
- Higuera, A., Castillo, I., Eslava C., Cifuentes E., Cortés, J., Murillo, M. y Yalaupari, J. (2000). Contaminación del Agua y efectos en la salud.
- Hopkins, J. (1998). Solution for a Water-Short World. New Orleans: Bloomberg School of Public Health. pp.1-32 Recuperado de <https://www.k4health.org/toolkits/info-publications/solutions-water-short-world>.
- Instituto de Recursos de Agua de Texas del Servicio de Extensión Cooperativa de Texas. Problemas del agua potable: el Hierro y el Manganeso. Recuperado de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5451sironandman.pdf>
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: UNAM y FEMISCA.
- 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.
- Méndez, R., Pacheco, J., Castillo, E., Cabrera, A., Vázquez, E. y Cabañas, D. (2014). Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. 19(1). pp.51-61. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924005>
- Ministerio de Salud (2010). Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, DS. DS N° 031-2010-SA. Lima, Perú.
- Ministerio Nacional del Ambiente (2017). DS. N°004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima, Perú.
- Moreno Abril O. y Perez Lopez J. (1999). Análisis microbiológico del agua de consumo,

- cap. 8 de Estudio sanitario del agua. Pérez López. J. A. y Espigares García M. (eds). Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 135.
- 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, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- 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>
- Nordin, N. y Pommen, L. (1986). Water Quality Criteria for Nitrogen (Nitrate, Nitrite and Ammonia). Encontrado en Beita, W. (2008). Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Organización Mundial de la Salud. (1973). Normas Internacionales Para el Agua Potable. La Habana. pp.1-25.
- 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
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). Estudio de Calidad de Fuentes Utilizadas para Consumo Humano y Plan de Mitigación por Contaminación por uso Doméstico y Agroquímicos. pp.1-105
- Perdomo, C., Casanova, O. y Ciganda, V. (2001). Nitrate and Coliform Contamination of Groundwater in Southwst Uruguay. *Agrociencia* 5(1),10-22.
- Picone, L., Andreoli, Y., Costa, J., Aparicio, V., Crespo, L., Nannini, J. y Tambascio, W. (2003). Evolución de Nitratos y Bacterias Coliformes en Pozos de la Cuenca Alta del Arroyo Pantanoso (BS. AS.). *RIA*, 32(19). pp.99-110. Argentina.
- Price, M. (2007). Agua subterránea. Limusa. México, pp.330
- Ramírez, E., Robles, E., Sainz, G., Ayala, R. y Campoy, E. (2009). Microbiological quality of the Zacatepec aquifer, Morelos, Mexico. *Revista internacional de contaminación*

ambiental 25(4), 247-255.

Redacción National Geographic (2011). Contaminación del agua. [online] National Geographic. Available at: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua> [Accessed 20 Aug. 2019].

Robles, C. (2007). Guía de promoción y prevención de enfermedades diarreicas en la atención farmacéutica. Lima, PROESCUELA.

Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica. 9(12-13). pp.125-134

Reglamento de Calidad de Agua Potable N° 32327 de la Presidencia de la República y el Ministerio de Salud

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>

Walski, T. M., Parker F.L (1974). Consumers Water Quality Index., Jour Environ. Eng. Div., 100, No. EE3, pp.436-448.

ANEXOS

Anexo 1: Registros y Formatos



REGISTRO DE MATERIALES PRESTADOS

N	MATERIAL/EQUIPO	CANTIDAD	PROCEDENCIA	FECHA	OBSERVACIONES
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA			
GRUPO DE INVESTIGACIÓN ACh ₂ O			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO"			
NÚMERO DE MUESTRA:		CODIGO DE CAMPO:	
ORIGEN DE LA FUENTE:		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO:	
FECHA DE MUESTREO:		HORA DE MUESTREO:	
PARÁMETRO REQUERIDO:		CANTIDAD DE MUESTRA:	
MUESTREADO POR:		TIPO DE MUESTRA DE AGUA:	
PRESERVADA:	SI	NO	TIPO DE REACTIVO:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA			
GRUPO DE INVESTIGACIÓN ACh ₂ O			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO"			
NÚMERO DE MUESTRA:		CODIGO DE CAMPO:	
ORIGEN DE LA FUENTE:		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO:	
FECHA DE MUESTREO:		HORA DE MUESTREO:	
PARÁMETRO REQUERIDO:		CANTIDAD DE MUESTRA:	
MUESTREADO POR:		TIPO DE MUESTRA DE AGUA:	
PRESERVADA:	SI	NO	TIPO DE REACTIVO:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA			
GRUPO DE INVESTIGACIÓN ACh ₂ O			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO"			
NÚMERO DE MUESTRA:		CODIGO DE CAMPO:	
ORIGEN DE LA FUENTE:		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO:	
FECHA DE MUESTREO:		HORA DE MUESTREO:	
PARÁMETRO REQUERIDO:		CANTIDAD DE MUESTRA:	
MUESTREADO POR:		TIPO DE MUESTRA DE AGUA:	
PRESERVADA:	SI	NO	TIPO DE REACTIVO:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA			
GRUPO DE INVESTIGACIÓN ACh ₂ O			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO"			
NÚMERO DE MUESTRA:		CODIGO DE CAMPO:	
ORIGEN DE LA FUENTE:		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO:	
FECHA DE MUESTREO:		HORA DE MUESTREO:	
PARÁMETRO REQUERIDO:		CANTIDAD DE MUESTRA:	
MUESTREADO POR:		TIPO DE MUESTRA DE AGUA:	
PRESERVADA:	SI	NO	TIPO DE REACTIVO:

Anexo 2: Evidencia Fotográfica

Zona sur

Fuentes de Captación de Agua Ciudad Ilave, Provincia de el Collao.

Punto de captación Rio Ilave (PTAP ILAVE) –Fuente Nueva



Punto de captación Pozo Subterráneo – Fuente Antigua





Punto de captación Rio llave (PTAP ILAVE) –Fuente Reciente



FUENTES DE CAPTACIÓN DE AGUA CIUDAD JULI, PROVINCIA DE CHUCUITO.

Punto de captación Manantial Hancohaque



Punto de captación Manantial Nayrahaque





Punto de captación Manantial Piluma



FUENTES DE CAPTACIÓN DE AGUA CIUDAD DESAGUADERO, PROVINCIA DE CHUCUITO.

Punto de captación Pozo Subterráneo Cala Cala -Desaguadero



Punto de captación Manantial Cumi –Desaguadero



FUENTES DE CAPTACIÓN DE AGUA CIUDAD YUNGUYO, PROVINCIA DE YUNGUYO.

Punto de captación Lago Wiñaymarca – Yunguyo



Punto de captación río Choquechaca – Yunguyo



Punto de captación Manantial Humajalso – Yunguyo





FUENTES DE CAPTACIÓN DE AGUA CIUDAD DE PUNO, PROVINCIA DE PUNO.

Punto de captación Chimú del Lago Titicaca – Puno





Punto de captación Rio Totorani – Puno



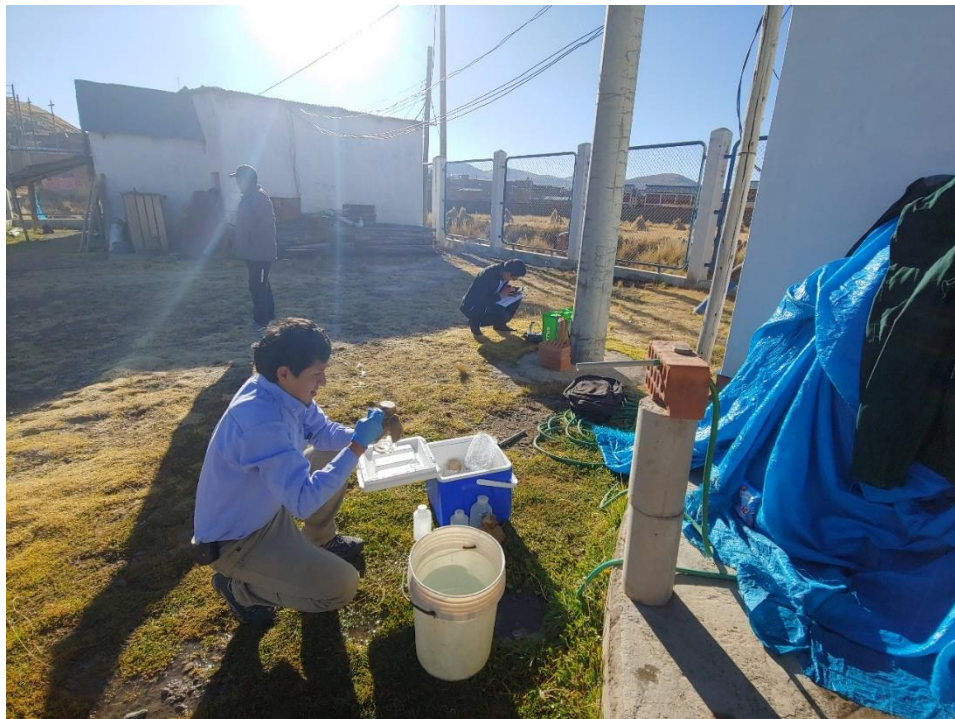
FUENTES DE CAPTACIÓN DE AGUA CIUDAD DE JULIACA, PROVINCIA DE SAN ROMAN.

Punto de captación Rio Coata- Juliaca



Zona norte

Muestreo provincia de Lampa



Muestreo provincia de Melgar



Muestreo provincia de Melgar



Muestreo provincia de Huancané



Muestreo provincia de Moho



Muestreo provincia de Moho



Muestreo provincia de Azángaro



Muestreo provincia de Carabaya



Muestreo provincia de San Antonio de Putina



Muestreo provincia de San Antonio de Sandia



Anexo 3: Artículo Científico

“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO EN LA REGIÓN PUNO”

José Luis Pineda Tapia¹, Dany Coaquira Mamani², Lisbeth Carina Coaquira Huacani³, Diego Wilman De La Cruz Paredes⁴, Maribel Jara Mamani⁵

1 Dr. en Ciencias y tecnologías Medioambientales. Docente Asociado de la E. P. de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú. E-mail: jpineda@unaj.edu.pe

2, 3, 4, 5. Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca, Puno, Perú. Miembro Fundador de la Sociedad de Investigación ACh2O

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, (6.23 – 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el distrito de Puno (PP-01), con un máximo de 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Yunguyo (YY-01) y el mínimo en Sandía (SS-01) con 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 determination of microbiological, physical chemicals and metals (Ca, K, Fe, Mn and Mg), in water samples taken at 24 collection points for supplying the main provinces of the Puno region For which a monitoring network was defined, Based on the global positioning, 16 parameters were 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, (6.23 - 8.75) pH respectively. On the other hand, in terms of conductivity, 16% of the samples analyzed exceed the ECAs, reaching peaks higher than 1538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the district of Puno (PP-01), with a maximum recorded in Yunguyo (YY-01) 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the minimum in Sandía (SS-01) with 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The maximum turbidity concentration is found in the city of Juliaca, 54.70 NTU, other parameters such as NO_3^{2-} do not exceed the established limits, in the region. The presence of Total Coliforms and Fecal Coliforms were found at points SS-01 (Sandía) and SJ (Juliaca). While the concentrations of Ca in the uptake of Desaguadero 02, Ayaviri 02, Azángaro, Macusani and Putina 01 exceed 60 mg/L; while the waters of Juli, Puno 02, Juliaca, Moho and Sandía are below 20 mg/L. while the presence of Mg in concentrations higher than 30 mg/L occurs in the uptake of Yunguyo 01 and Puno 01, while in the uptake of Moho, Juli and Sandía; which do not exceed 3 mg/L, shows, that of llave 02 exceeds 0.4 mg/L which is the established value; meanwhile samples like those of Macusani, Putina and Sandía are under the limits of detection of the equipment. Regarding Fe, the results can be seen in the figure being that the samples of llave, Juli, Yunguyo 02, Puno 02, Juliaca and Lampa exceed 0.3 mg/L, concentration that is within the EQS and limits from WHO. On the other hand, the sample of Ayaviri 01 has concentrations lower than the detection limits of the 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, 2009), 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, 2006). 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) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres, Cruz y Patiño, 2009). Otra de las 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), según mencionan Gerba y Bitton (1984) y Zoller (1994) "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" (citado en Ramírez et al, 2009).

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 el 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, el 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 et al.; 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 de las principales fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano en las principales provincias de la región Puno y su relación con la presencia de enfermedades digestivas agudas., empleando parámetros

fisicoquímicos y microbiológicos, para a posteriori contrastar los resultados con los estándares de calidad de agua y el reglamento de la calidad del agua para consumo humano demarcados por la legislación Peruana, así como también con la normatividad internacional.

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

Previo 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 (Fuente: 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 μm 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 sugiere los métodos estandarizados 3111 D y 3111 B

1

- 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

respectivamente según APHA, AWWA, & WPCF de 1989.

Resultados y Discusión

La red de monitoreo para el muestreo y análisis correspondiente comprende 24 puntos, como se

Tabla 1. Red de monitoreo para el análisis de agua

CODIGO DE MONITOREO	DESCRIPCIÓN ORIGEN/ UBICACIÓN	DISTRITO	PROVINCIA	COORD _ESTE	COORD _NORTE
CI-01	Rio llave			432479	8221521
CI-02	Puente llave	llave	El Collao	432236	8220854
CI-03	Reservorio Nuevo			431054	8219731
CJ-01	Manantial Hancohake			448533	8199163
CJ-02	Manantial Nayrahake	Juli	Chucuito	452506	8206382
CJ-03	Manantial Piluma			451575	8206933
CD-01	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero			493465	8171266
CD-02	Pozo Subterráneo, carretera a Desaguadero	Desaguadero	Chucuito	495675	8169359
YY-01	Lago Wiñaymarca			491047	8202700
YY-02	Rio Choquechaca	Yunguyo	Yunguyo	487160	8198584
YY-03	Manantial Humajalso			487197	8198597
PP-01	Chimu	Puno	Puno	396995	8247276
PP-02	Totorani			381203	8251868
SJ-01	Rio Coata	Juliaca	San Román	381320	8289695
LL-01	Cámara de reunión	Lampa	Lampa	352633	8301066
MA-01	Captación Punko Punko			331266	8358911
MA-02	Captación Río Ayaviri	Ayaviri	Melgar	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

* Fuente: 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

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.

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

Fuente: 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 la 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.

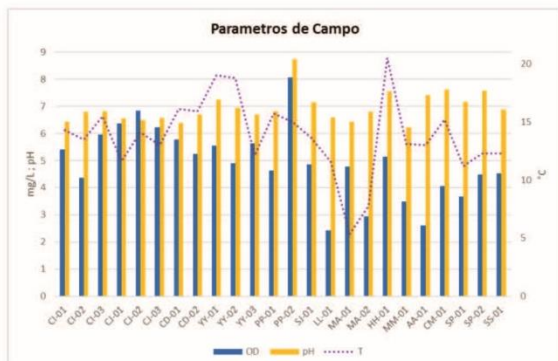


Figura 2. Resultados de parámetros de campo: temperatura, oxígeno disuelto y pH, para todas las provincias monitoreadas.

Parámetros Físicoquímicos

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 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en el 16 % de las muestras analizadas, llegando a picos

superiores de 1538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el distrito de Puno (PP-01), como valor máximo registrado se encuentra Yunguyo (YY-01) con un pico de 1858.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el mínimo valor registrado se encuentra en Sandia (SS-01) con 20.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

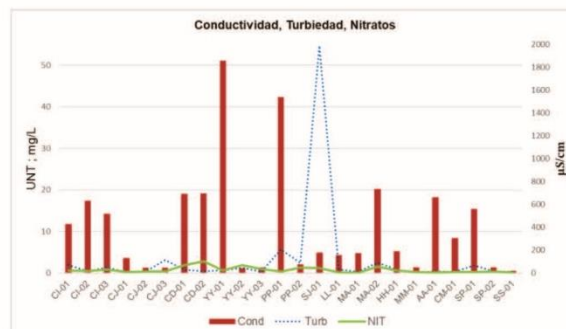


Figura 3. Resultados de parámetros de fisicoquímicos: conductividad, turbiedad y nitratos.

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 Solidos DisueltosTotales, en la grafica se obtuvieron valores superiores al límite establecido por el Estandar 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 maximo se encuentra el distrito de Puno con un pico de 900 mg/L y como minimo 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 Solidos 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 Solidos 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 entro de la normatividad nacional estos parámetros no están contemplados, así mismo no se encuentran en normativas internacionales.

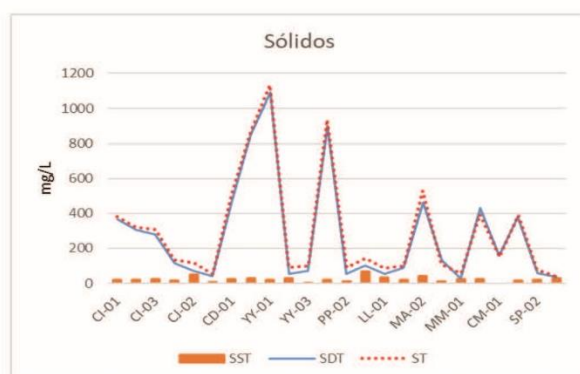


Figura 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos: solidos totales, solidos totales disueltos y solidos suspendidos totales.

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).

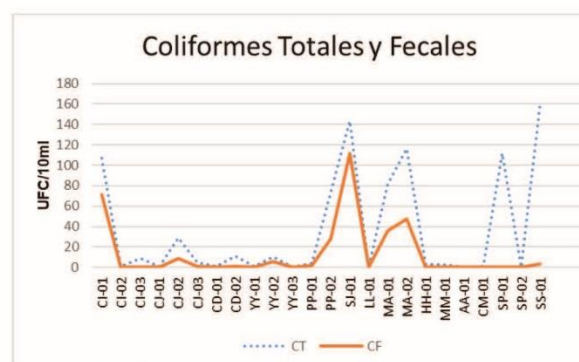


Figura 5. Resultados de parámetros microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.

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 está 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 esta este parámetro, pero que actualmente está derogado, dentro de esta legislación Española se observa en la figura 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 Manganese 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.

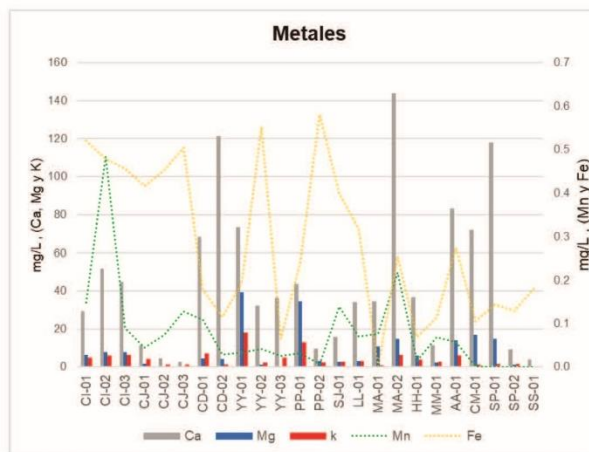


Figura 6. Resultados de parámetros metales: calcio, magnesio, potasio, manganese y hierro.

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 el 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 encontró en el distrito de Sandía, sin embargo no se encontró una correlación significativa entre estos este parámetro y los casos de EDAs reportados en el distrito, lo cual evidencia que las causas del alto numero de EDAs tiene otras justificantes.

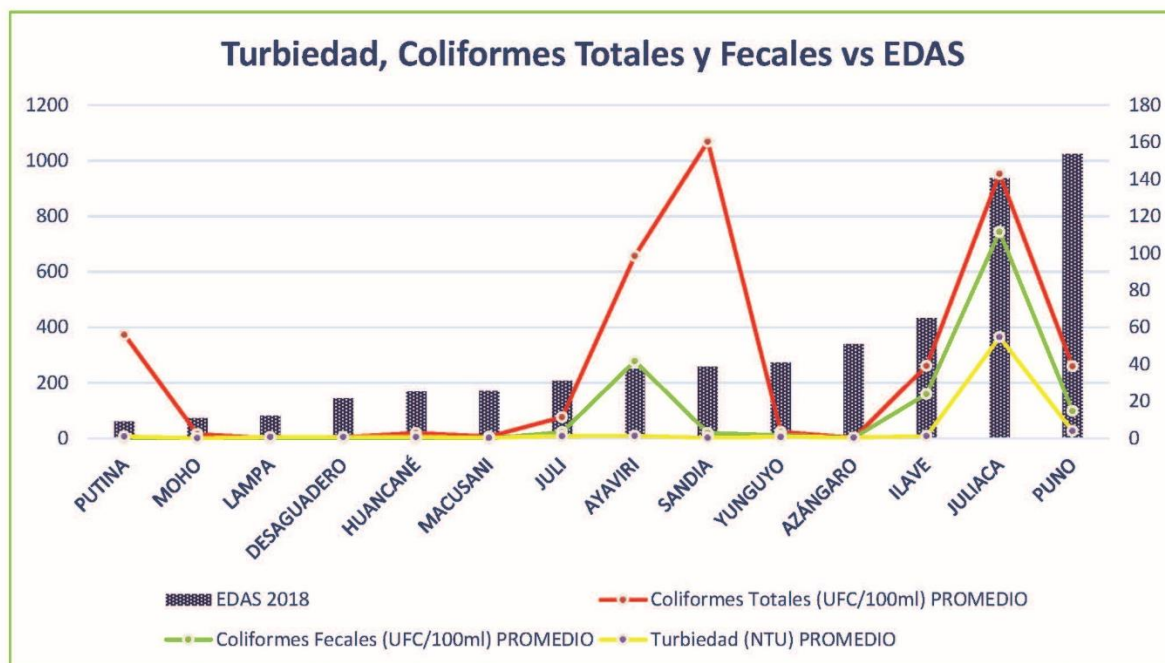


Figura 7. Correlación de los parámetros microbiológicos y las enfermedades diarreicas agudas (EDAs) de la región de Puno

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 el 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 observar 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.
- Gerba P. y Bitton G. (1984). *Microbial pollutants: their survival and transport pattern to groundwater*. En: Groundwater pollution microbiology (G. Bitton y Ch. P. Gerba, Eds.). John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 65–88.
- Higuera, A., Castillo, I., Eslava C., Cifuentes E., Cortés, J., Murillo, M. y Yalaupari, J. (2000). *Contaminación del Agua y efectos en la salud*.
- Hopkins, J. (1998). *Solution for a Water-Short World*. New Orleans: Bloomberg School of Public Health. pp.1-32 Recuperado de <https://www.k4health.org/toolkits/info-publications/solutions-water-short-world>.
- 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.
- Moreno Abril O. y Perez Lopez J. (1999). *Análisis microbiológico del agua de consumo*, cap. 8 de Estudio sanitario del agua. Pérez López. J. A. y Espigares García M. (eds). Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 135.
- 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>