

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO EN EL SECTOR DE
TAPARACHI III DE LA CIUDAD DE JULIACA, PUNO - 2016**

TESIS:

PRESENTADA POR:

Br. KATHERINE VANESSA CALSÍN RAMÍREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO EN EL SECTOR DE TAPARACHI III DE LA CIUDAD DE JULIACA, PUNO- 2016

TESIS

PRESENTADA POR:

Br. KATHERINE VANESSA CALSÍN RAMÍREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE SETIEMBRE DEL 2016

APROBADO POR EL JURADO INTEGRADO POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :

M. Sc. Félix Rodolfo MEZA ROMUALDO

PRIMER MIEMBRO :

M. Sc. Buenaventura O. CARPIO VÁSQUEZ

SEGUNDO MIEMBRO :

Mg. Dante MAMANI SAIRITUPAC

DIRECTOR DE TESIS :

M. Sc. Eva LAURA CHAUCA

ÁREA: Microbiología y Laboratorio Clínico

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Diagnóstico y Epidemiología

TEMA: Microbiología del agua

DEDICATORIA

... a Dios por haberme dado la vida y por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

... Con eterna gratitud a mis padres, Bilo Calsín C. y Victoria Ramirez C.; a mi hermano David, por inculcarme principios, valores y brindarme todo su apoyo y cariño.

A Jhon por su cariño incondicional y a mi querido hijo Gael Santiago por ser la fuente inagotable en mi quehacer cotidiano...

A mi familia y a mis amigos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ciencias Biológicas y a su plana docente, por haberme acogido en mis estudios de pre grado.

A la Dra. Eva Laura Chauca, por su acertada dirección, orientación en la tarea de investigación y por su apoyo incondicional.

A la Ing. Nancy Carmen Guerra Díaz, Lic. Wilber Rolando Cornejo Pilco, Ing. Rodolfo Incacari Sancho por su asesoramiento y sus conocimientos compartidos en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros Marleny, Karen, Denise, Marco y a todo el personal de Control de Calidad de la EPS.SEDAJULIACA.S.A, por su apoyo incondicional y contribución a la ejecución del trabajo.

A los distinguidos miembros del jurado, por acceder amablemente a formar parte del mismo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	7
I.INTRODUCCIÓN.....	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1. Antecedentes	11
2.2. Marco teórico	14
2.3. Marco conceptual	23
III.MATERIAL Y MÉTODO	25
3.1. Área de estudio.....	25
3.2. Tipo de estudio.....	25
3.3. Población y muestra	25
3.4. Metodología	25
3.5. Método estadístico	31
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
V. CONCLUSIONES.....	50
VI.RECOMENDACIONES	51
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Conductividad eléctrica en aguas de pozos artesanales y tubulares en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - 2016	33
Cuadro 2. Temperatura en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca ($^{\circ}\text{C}$) - 2016	34
Cuadro 3. Sólidos totales disueltos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (mg/L) - 2016	35
Cuadro 4. Turbiedad en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (NTU) - 2016	37
Cuadro 5. pH en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (UpH) - 2016.....	38
Cuadro 6. Concentración de sulfatos (mg/L) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	40
Cuadro 7. Concentración de nitratos (mg/L) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	41
Cuadro 8. Concentración de cloruros en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	42
Cuadro 9. Dureza total en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (mg/L)	43
Cuadro 10. Coliformes totales (UFC/100mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	45
Cuadro 11. Coliformes fecales (UFC/100 mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	46
Cuadro 12. Bacterias heterotróficas (UFC/100mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016.....	48

RESUMEN

La investigación se realizó en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román. Durante los meses de febrero – junio del 2016. Los objetivos fueron determinar los parámetros físicos: conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbidez; determinar los parámetros químicos: pH, dureza total, cloruros, nitratos y sulfatos; y determinar parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas en aguas subterráneas. Se analizaron muestras de agua procedentes de 70 pozos (32 artesanales y 38 tubulares) utilizando métodos de la Norma Técnica Peruana (2012), manual de análisis de agua HACH (2000) y el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano MINAM (2012) en el laboratorio de control de calidad de la EPS. SEDA JULIACA.S.A. Los datos se procesaron utilizando el paquete estadístico SAS versión 9,2. Los resultados de los parámetros físicos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca muestran que la conductividad total fueron de $1636.25 \pm 86.39 \mu\text{S/cm}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $1082.18 \pm 81.79 \mu\text{S/cm}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$); la temperatura fueron de $14.49 \pm 0.38 \text{ }^\circ\text{C}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $14.52 \pm 0.40 \text{ }^\circ\text{C}$, ANDEVA ($P > 0.05$); los sólidos totales disueltos fueron de $785.03 \pm 41.12 \text{ mg/L}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $509.82 \pm 41.20 \text{ mg/L}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$); la turbiedad fueron de $2.15 \pm 0.39 \text{ NTU}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $3.09 \pm 0.42 \text{ NTU}$, ANDEVA ($P > 0.05$); los parámetros químicos en aguas de pozos muestran que el pH total fueron $7.39 \pm 0.08 \text{ UpH}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $7.14 \pm 0.12 \text{ UpH}$, ANDEVA ($P > 0.05$); la concentración de sulfatos fueron de $324.00 \pm 35.75 \text{ mg/L}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares fue $226.18 \pm 34.16 \text{ mg/L}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$); la concentración de nitratos fueron de $34.10 \pm 3.22 \text{ mg/L}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $28.40 \pm 3.70 \text{ mg/L}$, ANDEVA ($P > 0.05$); el cloruro total fueron de $206.50 \pm 21.34 \text{ mg/L}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $134.31 \pm 19.77 \text{ mg/L}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$); la dureza total fueron de $628.91 \pm 48.78 \text{ mg/L}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $438.91 \pm 45.33 \text{ mg/L}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$). Los parámetros bacteriológicos de coliformes totales fueron $378.16 \pm 96.03 \text{ UFC/100 mL}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $226.21 \pm 62.60 \text{ UFC/100 mL}$ ANDEVA ($P > 0.05$); los coliformes fecales fueron de $107.22 \pm 43.16 \text{ UFC/100 mL}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $27.79 \pm 6.67 \text{ UFC/100 mL}$ ANDEVA ($P \leq 0.05$) y las bacterias heterotróficas fueron de $303.47 \pm 74.58 \text{ UFC/100 mL}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares $217.79 \pm 56.98 \text{ UFC/100 mL}$ ANDEVA ($P > 0.05$). Se concluye que los parámetros que excedieron los LMP fueron sulfatos, dureza total, coliformes totales y fecales, por lo tanto el agua de pozos artesanales y tubulares no son aptas para el consumo humano.

Palabras clave: Bacteriológicos, calidad de agua, físico, parámetros, pozos artesanales, pozos tubulares, químicos.

ABSTRACT

The research was conducted in the Taparachi sector III the city of Juliaca, San Román province. During the months of February – June 2016. The objectives were to determine the physical parameters: conductivity, temperature, total dissolved solids, turbidity; determine the chemical parameters: PH, total hardness, chlorides, nitrates and sulfates; and determine bacteriological parameters: total coliforms, fecal coliform and heterotrophic bacteria in groundwater. From 70 wells water samples were analyzed (32 crafts and 38 tubular) using methods of the Peruvian Technical Standard (2012), HACH water analysis manual (2000) and the regulation of the quality of water for human consumption DS. N° 031-2010 – SA. In the quality control laboratory of the EPS. SEDA JULIACA S.A. the information was processed using the statistical bundle S.A.S. Version 9, 2. The results of the physical parameters in wells waters in the Taparachi Sector III the city of Juliaca show that the total conductivity was 1636.25 ± 86.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$. in craft wells and in tubular wells 1082.18 ± 81.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$); the temperature was 14.49 ± 0.38 °C in craft wells and in tubular wells 14.52 ± 0.40 °C, ANDEVA ($P > 0.05$); the total solids dissolved were 785.03 ± 41.12 mg/L in craft wells and tubular wells 509.82 ± 41.20 mg/L, ANDEVA ($P \leq 0.05$); the turbidity was 2.15 ± 0.39 NTU, in craft wells and in tubular wells 3.09 ± 0.42 NTU, ANDEVA ($P > 0.05$); the parameters chemicals in waters of wells show that the PH total were 7.39 ± 0.08 UpH in craft wells and in tubular wells 7.14 ± 0.12 UpH, ANDEVA ($p > 0.05$); the sulfates concentration was of 324.00 ± 35.75 mg/L in craft wells and in tubular wells were 226.18 ± 34.16 mg/L, ANDEVA ($P \leq 0.05$); the nitrate concentration was of 34.10 ± 3.22 mg/L in craft wells and in tubular wells 28.40 ± 3.70 mg/L ANDEVA ($p > 0.05$); total chloride was of 206.50 ± 21.34 mg/L in craft wells and in tubular wells 134.31 ± 19.77 mg/L, ANDEVA ($p \leq 0.05$); the total hardness was of 628.91 ± 48.78 mg/L in craft wells and tubular wells 438.91 ± 45.33 mg/L ANDEVA ($p \leq 0.05$); bacteriological parameters of total coliforms were 378.16 ± 96.03 UFC/100 ML in craft wells and in tubular wells 27.79 ± 74.58 UF C/100 ML in craft wells and in tubular wells 217.79 ± 56.98 UFC/100 ML ANDEVA ($p > 0.05$), it is concluded that the parameters that exceeded the LMP were sulfates, total hardness, total chloride and fecal Coliforms, therefore the water of craft and tubular wells are not suitable for human consumption.

Key words: Bacteriological, water quality, physical, parameters, craft wells, tubular wells, chemical.

I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en la actualidad está bajo presiones crecientes como consecuencia del crecimiento de la población, el establecimiento de asentamientos humanos en zonas no adecuadas, lo cual ha llevado a una competencia por los recursos limitados de agua dulce. La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas. El peligro más común y difundido, en el agua de consumo humano es la contaminación microbiana con aguas servidas y excretas del hombre y de los animales. Si la contaminación es reciente y se hallan microorganismos patógenos, es posible la capacidad de producir enfermedad. El agua para consumo humano debe cumplir con los parámetros de calidad y ser inocua. Por consiguiente el agua no debe presentar ningún tipo de riesgo que pueda causar irritación química, intoxicación o infección microbiológica que sea perjudicial a la salud humana.

El acceso al agua potable es un problema en los ámbitos nacional, regional y local así en la ciudad de Juliaca el 31.1% de abastecimiento de agua para consumo humano provienen de pozos, los cuales son consumidos en forma directa sin ningún tratamiento, lo que sería insalubre y de un saneamiento e higiene deficiente. Ante la agudización de la escasez de agua potable, las poblaciones obtienen de este compuesto dotación a través de fuentes subterráneas cuyo volumen les permite su utilización para el consumo y otras actividades humanas, esta fuente de agua es abastecida mediante la perforación de pozos superficiales y profundos con rendimientos que superan los 30 L/s (INEI, 2012).

La ciudad de Juliaca según el Instituto Nacional de Estadística e Informática es la decimotercera ciudad más poblada del Perú y albergaba una población de 216.716 habitantes (Sistema de Consulta de Resultados Censales, 2015). Está en incremento constante y la escases de agua potable es evidente, por lo que, el agua subterránea (pozos) es un recurso natural alternativo para muchos barrios que les permite la supervivencia. Teniendo en cuenta esta situación y lo fundamental del abastecimiento de agua en el desarrollo de la vida, como fuente vital para el hombre, existe la necesidad de desarrollar una gestión integral del agua, que involucre desde su extracción, potabilización, distribución y por último el tratamiento de las aguas subterráneas a fin de proporcionar un agua de mejor calidad que no presente riesgo para la salud. Por lo que es fundamental investigar la calidad del agua proveniente de los pozos y necesario

comprender los alcances de la contaminación de las aguas subterráneas que se produce al evacuar excretas y aguas residuales en el subsuelo.

La falta de sistemas de saneamiento estaría ocasionando enfermedades infecciosas gastrointestinales que ocupan el segundo lugar, la misma que alcanzó una morbilidad del 26.48% (OMS, 2006). Esta situación presupone el aumento de los presupuestos públicos para la atención de salud y el aumento de los presupuestos familiares para combatir las enfermedades, la disminución de productividad laboral, la pérdida de días de educación en la población estudiantil, entre otras, consecuencias que de alguna manera disminuyen la calidad de vida de un gran número de habitantes de Juliaca.

En las aguas de pozo que utiliza la ciudad de Juliaca no se realiza ningún tipo de tratamiento, ni monitoreo medioambiental por lo que se considera de especial importancia determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos; ya que estas son susceptibles a ser contaminadas por material orgánico que conllevan a la contaminación por microorganismos exponiendo a las personas a un riesgo de enfermedades gastrointestinales y sustancias químicas, de esta manera priorizar la solución del problema de saneamiento básico que contribuirá en mejorar la calidad de vida de la población de la ciudad de Juliaca.

Objetivo general:

Determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

Objetivos específicos:

Determinar los parámetros físicos: conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbidez en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

Determinar los parámetros químicos: pH, sulfatos, nitratos, cloruros y dureza total en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

Determinar los parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas en aguas de pozo del sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Chambi (2015) realizó un estudio con el objetivo de determinar el estado sanitario de la infraestructura de abastecimiento de agua de consumo humano en el centro poblado de Trapiche Ananea – Puno, en donde los valores fueron de 14.85 UFC/100 mL coliformes totales y *E. coli* /100 mL de agua de pozos, determinándose que el agua no es apto para consumo humano. Mientras que en la calidad bacteriológica de agua de pozo y agua potable utilizada en los mercados Unión y dignidad, Bellavista, Central y Laykakota de la ciudad de Puno los resultados fueron coliformes totales: 827.25 NMP/100 mL, coliformes termotolerantes: 111 NMP/100 mL y *Escherichia coli* 164 NMP/100 mL. Soto (2013). Por otro lado, Cutimbo (2012) determinó coliformes totales y termotolerantes por el método de tubos múltiples en pozos de La Yarada – Tacna; por cuanto los resultados fueron: 21 pozos (46%) se encontraron bacteriológicamente aptas para el consumo humano y 25 pozos (54%) no aptas.

Por lo anterior, en los estudios realizados en aguas de la sabana de Bogotá – Colombiapor Campos *et al.*, (2008) evaluaron el comportamiento de los indicadores de contaminación fecal. Así en su estudio encontraron entre 1.07 y 1.74 UFC/100 mL. Por otra parte en las aguas de entrada a los sistemas de lagunaje encontraron 6.63 UFC/100 mL y en el agua de salida observaron medias geométricas de 3.25 UFC/ 100 mL. No obstante, en los estudios realizados por Herrera y Quintero (2009) de las aguas subterráneas de Venados y Caracolí - Cesar (Colombia); utilizaron como indicadores de contaminación a coliformes totales y coliformes fecales, cuyos resultados fueron: Coliformes totales 2600 UFC/100 ml, Coliformes fecales 2600 UFC/100 mL, mesófilos aerobios 2600 UFC/100mL, de esta manera demostraron que estas aguas no son aptas para el consumo humano.

Por otra parte, en los estudios de Robles *et al* (2013) determinaron la calidad del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan – México, donde efectuaron seis muestreos y determinaron dos parámetros bacteriológicos y once fisicoquímicos, reportando los resultados de: turbidez (0.14 – 0.77NTU), pH (6.0 – 7.6), sólidos totales disueltos en mg/L (297 - 1198), sulfatos en mg/L (49.8 - 740), dureza total en mg/L (145 - 736), nitratos en mg/L (0.81 – 2.20), cloruros en mg/L (3.8 – 30.7), las pruebas bacteriológicas mostraron concentraciones de coliformes totales y fecales en todos los

pozos. Asimismo, Vence *et al* (2009) en su estudio de aguas subterráneas en La Paz y San Diego - Colombia en 2009; reportaron los siguientes resultados: conductividad (221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 5270 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (6,71 - 8,2), temperatura (27,5 °C - 31,70 °C), sólidos disueltos totales (120 mg/L - 2630 mg/L), turbidez (0 - 23,3 UPC), cloruros (0,0035 mg/L - 0,600 mg/L), nitratos (0,613 mg/L - 128,824 mg/L), dureza total (15 mg/L - 180 mg/L).

Las investigaciones realizadas por Montes de Oca (2009) en: El Rincón, El Pedregal y San Francisco del Valle del Yeguaré y Zamorano (Honduras); se reportaron los siguientes valores: nitratos 29.6 mg/L de ($\text{NO}_3\text{-N}$) coliformes termotolerantes (6300 UFC/100 mL) y concluye que estos valores son el resultado de las actividades agrícolas y ganaderas, además de fosas sépticas en la zona y la proximidad del nivel freático; con respecto al pH (4.1 - 8.1 unidades de pH), la temperatura del agua fue 25.2 °C para la zona de El Pedregal y 25.1 °C para San Francisco, la conductividad que encontraron fue de 153.9 - 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los nitratos fueron de 0.2 mg/L, 29.6 mg/L y 18.8 mg/L; en cuanto a turbidez encontró valores de 0.02 - 123 UNT con una media de 16.81 UNT, por otra parte los estudios realizados por Esparza *et al* (2005) en zonas rurales de Pelipeline y Jallamilla del distrito de Achaya Azángaro - Puno, tienen una alta turbiedad del agua en los pozos fueron verificadas, encontrando valores de 20.50 NTU a 141 NTU.

Orozco *et al.*, (2008) en sus estudios de aguas superficiales y subterráneas, en el arroyo Colorado y el río Pumpuapa - México; encontraron que la concentración de metales, parámetros físicos y químicos, no excedieron los límites de la normatividad vigente, a excepción del pH (6.3 - 7.3) que probablemente se modificó por la infiltración de los lixiviados y el escurrimiento de los desechos del basurero hacia el arroyo, por otro lado, la temperatura oscila entre 26.9 - 28.9 °C y la conductividad entre 71 - 496 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin embargo, encontraron alta concentración de coliformes fecales 457 - 4358 UFC /100 mL en las zonas de mayor actividad antropocéntrica. Asimismo en la investigación de Mamani (1994) sobre contaminación bacteriológica del agua para consumo humano de pozos artesianos de los barrios urbano marginales de Juliaca encontró 1679.12 bacterias coliformes totales, con respecto a coliformes fecales en aguas superficiales, 1033.48 coliformes fecales/100 mL superando el límite máximo permisible, por consiguiente se debe aplicar un tratamiento completo para el uso como agua de bebida.

Fragozo (2007) realizó la evaluación hidrogeoquímica del agua subterránea en Bosconia, Copey, Valledupar, La Paz y San Diego (Colombia), a través de la ejecución de análisis fisicoquímicos y microbiológicos recaudó 160 muestras de agua subterránea y determinó *E. coli* en 13.4%. Mientras que, en los estudios realizados en Yucatán – México por Pacheco *et al.*, (2004) recolectaron 106 muestras y demostraron que el agua subterránea presentaba una calidad bacteriológica clasificada como “peligrosa” y “muy contaminada”, en cuanto a los nitratos presentaron un 89% por debajo del límite establecido en la norma (45 mg/L) y el 11% restante con valores que exceden dicho límite, alcanzando concentraciones de hasta 96 mg/L fueron de “buena calidad”, mientras que los cloruros exceden con la normativa (404 – 632 mg/L).

Los estudios de vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán – Méxicorealizados por Pérez y Pacheco (2004) se obtuvieron los siguientes resultados de nitratos que corresponden a los pozos en época de estiaje; de los cuales 21 superaron el límite permisible de 45 mg/L de nitratos destacando el municipio de Kopomá con 224.63 mg/l, esto puede deberse al aumento de fertilizantes nitrogenados comerciales empleados en la agricultura y al retorno de desechos derivados de la explotación pecuaria u otras fuentes al suelo.

Pérez *et al* (2003) realizaron la caracterización de las aguas subterráneas que abastecen al distribuidor general de agua de la ciudad de Zimapán Hidalgo, México, de los cuales seleccionaron 6 puntos de muestreo de fuentes de agua subterránea en los que se determinaron 28 parámetros físico-químicos de las aguas colectadas reportaron los siguientes resultados: temperatura en °C indican valores entre (21.2 – 25.6), pH en unidades de pH (7.0 – 8.0), conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (383 – 639), turbidez en NTU (0.24 – 0.72), sólidos totales disueltos en mg/L (188 - 317), dureza total en mg/L (150.8 – 348.6), nitratos en mg/L (0.04 – 3.17), sulfatos en mg/L (25.85 – 54.84)

2.2. Marco teórico

2.2.1. Situación del abastecimiento de agua potable

A escala mundial, casi mil millones de personas carecen de agua potable, y 2 400 millones no tienen acceso a servicios de saneamiento básicos; otros 1 200 millones de personas no disponen de instalaciones de saneamiento de ningún tipo (Mora, 1996).

Por lo anterior, la OMS estima que cada año se presentan 500 millones de casos de infecciones gastrointestinales en niños menores de 5 años en Asia, África y América Latina (OPS, 2004), las mejoras en el abastecimiento de agua potable, benefician principalmente a las personas con menores ingresos, que suelen ser las más afectadas, además es preciso tener en cuenta que los recursos hídricos también son fundamentales en los procesos de producción, y en la salud de los trabajadores, lo que resulta esencial para aumentar la productividad (Reynolds, 2002).

2.2.2. Calidad del agua

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables fisicoquímicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo, la calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (OMS, 2006) tras cortos o largos periodos de exposición (Rojas, 2002) la evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (OPS, 2004), el agua destinada a ser consumida por el hombre ha sido, y es, de primordial importancia, interviniendo en el mismo muchos factores que pueden afectarla, siendo las actividades antrópicas una de las principales causas de contaminación del agua (Terán, 2003).

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos, así mismo los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano que originan una serie de desechos que son vertidos a las aguas para su eliminación (Sáenz, 1999). Por consiguiente la contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua (OPS, 2004). Por lo cual muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad (OMS, 2006).

Por lo anterior, la calidad del agua es un parámetro importante que afecta a todos los aspectos de los ecosistemas y del bienestar humano, como la salud de una comunidad, el alimento que se ha de producir, las actividades económicas, la salud de los ecosistemas y la diversidad biológica (CEPE, 1995). Es importante señalar que, después de ser utilizada, el agua suele regresar al sistema hidrológico y, si no es tratada, puede afectar gravemente al medio ambiente, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas, sin embargo en el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas; estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables para los humanos (Gramajo, 2004).

La OMS ha fijado 5 parámetros de calidad del agua que no pueden exceder los niveles aceptables: físicos, químicos, microbiológicos, toxicológicos y radiactivos; mientras que, la microbiológica se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros, tal y como sucede con los coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella* (Eaton *et al.*, 2005); aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de parámetros indicadores considerados serán aptas para la finalidad a que se las destina (OPS, 1988).

El agua para consumo humano se deriva de dos fuentes: aguas superficiales, como los ríos y reservorios que fluyen sobre la superficie de la Tierra, y subterráneas que son las que están situadas bajo el nivel freático y saturando completamente los poros y fisuras del terreno (Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología; 1992), cualquier cambio significativo en la concentración de algún parámetro indicador es sospecha de algún grado de contaminación, ya sea físico, químico o bacteriológico (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003).

2.2.3. Tipos de agua

Aguas subterráneas

Son aguas que se infiltran a través de las rocas y los suelos permeables, ya sea cuando llueve o desde los ríos y lagos (Acaso *et al.*, 2006), por lo cual representa sesenta veces más agua de la que hay en lagos y arroyos, pero parece algunas veces un problema por las diferentes profundidades a las que se encuentran, la velocidad de extracción y

además, cuando se infiltran aguas contaminadas hasta los depósitos de agua subterránea, estas últimas también se contaminan (Hirata y Reboucas, 2001)

Pozos artesianos

Existen pozos de captación de agua llamados pozos artesianos, que pueden ser aquellos tipos de pozo que alcanza un manto cautivo de agua, de forma que como el nivel freático del líquido está por encima de la superficie del pozo, éste mana por si solo elevándose hasta un nivel equivalente al del punto de alimentación de la capa cautiva menos un tanto debido a la pérdida de carga (Cuellar y Duarte, 2001) sin embargo, en algunos pozos el agua asciende, derramándose a veces por la superficie (Sutton y Harmon, 1999) en cuanto a la ventaja de los pozos artesianos es que no necesitan de bomba para elevar el agua (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Pozos tubulares

Obra hidrogeológica de acceso a uno o más acuíferos para la captación de agua subterránea, ejecutada con sonda perforadora en forma vertical con diámetro mínimo de 101,6 mm (4") (Galdiano *et al.*, 2007)

2.2.4. Calidad microbiológica del agua

Uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran presentes, los métodos utilizados están diseñados para detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal (Fattal *et al.*, 1987) sin embargo, estos métodos pueden no ser eficaces debido a que dichos microorganismos se encuentran en muy baja cantidad, sobre todo en presencia de números altos de otros microorganismos, o tienen una distribución irregular en el producto (CEPIS/OPS, 2000) estas dificultades han hecho que se utilice el grupo de bacterias coliformes como principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua; el número de coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y por lo tanto, de calidad sanitaria de la misma (Kornacki y Johnson, 2001).

Los coliformes son bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa con formación de gas cuando se incuban 48 horas a 35 °C, incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y especies lactosa positivas de otros géneros, estas bacterias son adecuadas como indicadores porque son habitantes comunes del tracto intestinal, tanto de las personas como de los animales de sangre

caliente, donde están presentes en grandes cantidades (Cutimbo, 2012); según las normas peruanas de calidad de agua para el consumo humano aprobado en el 2010 da como límites permisibles microbiológicos, parasitológicos y organolépticos los siguientes:

Cuadro 1. Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos de agua de consumo humano

Parámetros	Unidad de medida	Límite Permisible	Máximo
Bacterias coliformes totales	UFC/100 mL a 35°C	0	
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	0	
Bacterias coliformes fecales	UFC/100 mL a 44.5°C	0	
Bacterias heterotróficas	UFC/100 mL a 35°C	500	

Fuente: (DIGESA, 2011)

Cuadro 2. Límites Máximos Permisibles de calidad física y química de agua para consumo de agua

Parámetros	Unidad de medida	L.M.P
Turbiedad	NTU	5
pH	Valor de pH	6.5 – 8.5
Conductividad	uS/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Cloruros	mg/Cl ⁻	250
Sulfatos	mg/SO ₄ ⁻	250
Dureza total	mg/CaCO ₃	500
Nitratos	mg/NO ₃ ⁻	50

Fuente: (DIGESA, 2011)

2.2.4. Contaminación del agua

La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que pueden provocar enfermedades en la salud humana; por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Aurazo, 2004).

Contaminación por actividades humanas

Las formas de contaminación orgánica y biológica más comunes son las fosas sépticas, pozos negros, fugas de sistemas de alcantarillado, vertido indiscriminado de aguas de letrinas, a la cual se suma la contaminación nacida de la utilización cada vez más intensa de productos químicos de uso domésticos, tales como los detergentes en sus diferentes presentaciones (Aurazo, 2004).

Contaminación por labores agrícolas

La contaminación por labores agrícolas se produce por los abonos, pesticidas, como insecticidas, herbicidas y plaguicidas utilizados en la agricultura, después de usarlos en la tierra se descomponen aumentando las sales, esto ocasiona que el pH y el contenido de bicarbonatos disminuyan; a esto se suma el quemado de las plantas secas o sobrantes, que contribuyen con la salinización del suelo (Contreras *et al.* 1996).

2.2.5. Parámetros físicos

Conductividad

La mayor conductividad eléctrica en pozos artesanales se debe a la contaminación de las aguas subterráneas relacionada principalmente con el nivel freático que es poco profundo y se tiene el fenómeno de intrusión salina; este riesgo para la calidad del agua se debe a que la ciudad cuenta con un drenaje sanitario y pluvial deficiente, originado así el uso de pozos sépticos en las casas gran parte de estas escurren o se infiltran hacia ellos tal como reporta (Granel *et al.*, 2002).

Temperatura

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas, mientras que las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005).

Sólidos totales disueltos

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton, la materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición y pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua (OMS, 2003) y pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su

suministro de varias maneras y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (Metcalf y Eddy, 1995; Sawyer *et al.*, 2000; APHA, 2005).

Turbidez

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton, sedimentos procedentes de la erosión y microorganismos, el tamaño de estas partículas varía desde 0,1 a 1.000 nm de diámetro, de esta manera una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005) (Marcó *et al.*, 2004).

2.2.6. Parámetros químicos

pH o índice de hidrógeno

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica; y neutra si el número de los átomos de hidrógeno y de oxhidrilos son iguales (Ebbing, 1990). Es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales; todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual; a una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrogeno o pH; el pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con pH-metro; el pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua. (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005).

Sulfatos

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas y se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas (Severiche y González, 2012).

El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia; el umbral del sabor para el sulfato de sodio y sulfato de calcio en agua es: 250 mg/L y 100 mg/L respectivamente; el sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en

grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal; ocasionando un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005; OMS, 2006).

Nitratos

Los nitratos producidos en exceso para las necesidades de la vida vegetal, son transportados por el agua, luego estas se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos pudiendo encontrarse en concentraciones superiores en aguas subterráneas; el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoníaco así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales puede contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua (Muñoz *et al.*, 2004).

Por lo anterior, los riesgos por la exposición a nitratos y nitritos para la salud no dependen únicamente de la exposición, sino que también influyen la existencia de condiciones favorables para la reducción de nitratos a nitritos y algunos factores inherentes al individuo, esto impide que se pueda formular una relación de dosis-respuesta con respecto a la presencia de nitratos en el agua o en los alimentos; en niños menores de 6 meses que consuman agua con concentraciones elevadas de nitratos y nitritos, podrían enfermar gravemente de metahemoglobinemia infantil (Sawyer *et al.*, 2000).

Cloruros

El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua, de esta manera el alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado, la infiltración de aguas subterránea en las alcantarillas contiguas a aguas saladas constituyen también una potencial fuente de cloruros y sulfatos (Sawyer *et al.*, 2000).

Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales; las heces humanas, por ejemplo suponen unos 6 g de cloruros por persona día; un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal; el umbral del gusto de los cloruros es de 200 mg/L a 300 mg/L; los cloruros no tienen un efecto nocivo en la salud, pero en concentraciones superiores a 250 mg/L este valor está

basado en el sabor del agua el cual es percibido organolépticamente, y no en algún daño fisiológico conocido (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005).

Dureza total

El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto, el magnesio y calcio son iones positivamente cargados; debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio (OMS, 2006).

La dureza de las aguas refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto; el umbral del gusto es de: 100 - 300 mg/L y en concentraciones de 200 mg/L puede causar incrustaciones; el agua dura no tiene ningún riesgo a la salud pero puede crear problemas a los consumidores a partir de concentraciones superiores a 200 mg/L pueden afectar la tubería, los calentadores de agua y los lavaplatos; la aceptación de la dureza del agua por el público puede ser muy variable y está en función de las condiciones locales (Sawyer *et al.*, 2000; OMS, 2006).

2.2.7. Bacterias indicadoras de la calidad de agua

Coliformes

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos, la presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición; por lo general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004).

Coliformes totales

Bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gran negativas no esporuladas y de forma alargada, que desarrollan una colonia roja con brillo metálico en un medio tipo Endo que contenga lactosa tras una incubación de 24 horas a 35°C (Norma Técnica Peruana, 2012).

Coliformes fecales

Bacterias que forman parte del total del grupo coliforme y son definidos como Gram negativas, no esporuladas que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a

44°C \pm 0.2°C dentro de las 24 h \pm 2 h la mayor especie en el grupo de coliformes termotolerantes es la *Escherichia* que a su vez es el índice de contaminación fecal más adecuado (Sueiro *et al.*, 2001; .Norma Técnica Peruana, 2012) por consiguiente, la presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición

Cuanto mayor es la frecuencia de análisis de indicadores de contaminación fecal en el agua, mayor es la probabilidad de detectar contaminación, por lo tanto es preferible realizar exámenes frecuentes usando un método sencillo que realizar exámenes menos frecuentes mediante un análisis o serie de análisis más complejos en función de la pluviosidad y de otras circunstancias locales (Cabelli *et al.*, 1983).

Bacterias heterotróficas: Las bacterias heterotróficas están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, éstas son indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (Norma Técnica Peruana, 2012).

2.2.8. Vigilancia y control de la calidad del agua

La vigilancia es una actividad de investigación que se realiza para detectar y evaluar posibles riesgos para la salud asociados al agua de consumo, contribuye a proteger la salud pública fomentando la mejora de los llamados «indicadores de servicio» del abastecimiento de agua de consumo: calidad, cantidad, accesibilidad, cobertura (poblaciones con acceso fiable), asequibilidad y continuidad (OMS, 2004).

2.3. Marco conceptual

Aguas subterráneas: El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra; los pozos son la principal forma de acceso a los depósitos de agua subterránea (Munn, 2004).

Bacterias heterotróficas: Las bacterias heterótrofas abundan en el ambiente, especialmente en el agua, incluyendo agua tratada y del grifo, debido a su capacidad de adaptarse a un entorno desnutrido de sistemas de agua, las bacterias heterótrofas son capaces de vivir más tiempo que otros microorganismos en agua (Reynolds, 2002).

Calidad: característica de un producto o servicio que le proporcionan aptitud para satisfacer las necesidades del cliente (OMS, 2003)

Cloruros: El ión cloruro Cl^- , forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión Na^+ esto lógicamente ocurre en aguas muy salinas (Terán, 2003)

Coliformes totales: Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo coliforme forman parte varios géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, etc. Pueden encontrarse en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes: agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc (Munn, 2004).

Coliformes fecales: Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme, son bacilos Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5°C . La mayor especie del grupo coliforme fecal es *Escherichia coli* (Aurazo, 2004).

Conductividad: La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad (o de la aptitud) de un material o sustancia para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica (Terán, 2003)

Contaminación: Son agentes físicos, químicos y biológicos, extraña a la composición natural del producto (OMS, 2003)

Dureza Total: presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones (Terán, 2003)

Nitratos: El ión nitrato (NO_3^-) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco (Sawyer *et al.*, 2000).

pH: Mide la concentración de los iones hidrógeno y la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. (Reynolds, 2002).

Sólidos disueltos totales: Mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) (Marcó *et al.*, 2004).

Sulfatos: El ión sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles (Severiche y González, 2012).

Turbidez: Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones (Reynolds, 2002).

III. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Juliaca, geográficamente ubicada en la provincia de San Román, que pertenece a la región Puno, según las coordenadas, su ubicación es de 15°29'24" de latitud sur y 70°08'00" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. Pertenece a la región Suni, zona Central: 3825 msnm. Zona del Aeropuerto: 3824 msnm. Cima del Cerro Monos: 4139 msnm. La ciudad de Juliaca se constituye de un relieve plano (en su mayoría), pero como ciudad de la sierra tiene pequeños ramales de la Cordillera de los Andes que rodean la ciudad. Las lagunas de Chacas y Escuri junto a los ríos Cacachi y Maravillas propician el desarrollo de la flora y fauna en sus diversas especies, al clima influye dos factores anteriores y la altitud, presenta clima frígido con escasa humedad que varía por estaciones del año, en algunas temporadas como en el mes de agosto soporta fuertes corrientes de viento, precipitaciones pluviales en verano (SENAMHI, 2014). Las muestras serán analizadas en el laboratorio de control de calidad de la E.P.S.SEDAJULIACA.S.A

3.2. Tipo de estudio

Descriptivo: se recolectaron datos que describieron la situación tal y como es en todas sus dimensiones

Analítico: se establecieron relaciones entre las variables además de sugerir aspectos potenciales para la prevención de enfermedad o promoción de la salud

Prospectivo: es un estudio longitudinal en el tiempo que se diseña y comienza a realizarse en el presente, pero los datos se analizan transcurridos un determinado tiempo, en el futuro.

3.3. Población y muestra

El sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca cuenta con 142 pozos. Se seleccionaron 70 pozos para realizar el estudio (32 artesianos y 38 tubulares)

3.4. Metodología

3.4.1. Recolección de muestras de agua de pozos

Se prepararon los envases descartables y los frascos o vasos de muestreo debidamente esterilizados.

Posteriormente se realizó la toma de muestra de los pozos tubulares de la válvula de la manguera más cercana al pozo la cual se limpió con un desinfectante en este caso alcohol y se dejó fluir el agua por unos 2 minutos para el muestreo adecuado. (NTP, 2012), para pozos artesanales se utilizó un envase de plástico limpio para sacar el agua con ayuda de una cuerda.

Los frascos se transportaron en un cooler de plástico con refrigerante que permitió que la muestra se conserve a temperatura de refrigeración.

En la cubierta del cooler se colocó una etiqueta frágil, muestras de agua, urgente. En la parte interna del cooler también se colocó el formulario detallado cuyos datos fueron:

- Identificación del punto de muestreo.
- Procedencia
- Número de muestra o código.
- Fecha.
- Hora de recolección
- Volumen enviado (dependiendo del tipo de análisis).
- Profundidad de la recolección.
- Temperatura.
- Indicar los parámetros analíticos del laboratorio.
- Nombre y firma de la persona que realizó el muestreo.
- Observaciones: (se incluirá alguna característica saltante fuera de lo común).

En el laboratorio la muestra fue conservada a temperatura de refrigeración hasta el inicio del examen.

3.4.2. Métodos de laboratorio

Se utilizaron las metodologías de la Norma Técnica Peruana (2012), Manual de Análisis de Agua HACH (2000)

3.4.2.1. Parámetros físicos

Conductividad eléctrica

Fundamento: en el método de medición directa las unidades de conductividad eléctrica de examen son en micro Siemens/cm. En la práctica se mide la conductividad con electrodos de diferente tamaño, rectangulares o cilíndricos, por lo que al hacer la

medición, en lugar de la conductividad se mide la conductancia, la cual se multiplicó por la constante (k) de cada celda en particular, se transforma en la conductividad en S/cm.

Procedimiento: Se vertió 50 mL de la muestra en un vaso de precipitado. Seguidamente se introdujo el electrodo del conductímetro, para luego tomar nota del valor.

Temperatura

Fundamento: en el método de medición directa las unidades de la temperatura son en °C, el sensor utilizado para la compensación automática de temperatura, normalmente no necesita una calibración, pero si la lectura de la temperatura es sospechosa de dar valores erróneos, puede calibrarse por comparación con un sistema certificado de temperatura.

Procedimiento: Se vertió 50 mL de la muestra en un vaso de precipitado. Seguidamente se introdujo el termómetro, para luego tomar nota del valor.

Sólidos totales disueltos

Fundamento: con el método de medición directa, la determinación de sólidos totales disueltos mide específicamente el total de sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos totales disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor.

Procedimiento

Se colocó en un vaso de precipitado 40 mL de la muestra de agua.

Seguidamente se introdujo el electrodo del conductímetro, se presionó dos veces la tecla Mode hasta que se establezca, para luego tomar nota del valor obtenido.

Turbidez

Fundamento: El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Procedimiento

Se limpió la celda con papel tissue y se vertió 25 mL de la muestra en celdas para turbidímetro.

El resultado (NTU), se obtuvo directamente de la pantalla del turbidímetro y se anotó al valor más alto que alcanzó.

3.4.2.2. Parámetros químicos

Potencial de hidrogeniones (pH)

Fundamento: Con el método potenciómetro solo se determinó si es agua es ácida, neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.

Procedimiento: Se vertió 40 mL de la muestra en un vaso de precipitado, seguidamente se introdujo el electrodo del potenciómetro, finalmente los datos se registraron en la pantalla del equipo.

Sulfatos

Fundamento: Para identificar los sulfatos por el método de espectrofotometría es necesario que la muestra sea tratada con cloruro de bario, en medio ácido formándose un precipitado blanco de sulfato de bario, produciendo valores de turbidez estables, así la intensidad de los fotones que pasan a través de una muestra que contiene analito, se atenúa debido a la absorción, la medida de esta atenuación, que recibe el nombre de absorbancia es la que sirve de señal, la turbidez de este precipitado se mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 680 nm y con una celda de 25 mL.

Procedimiento

Se utilizó el espectrofotómetro ingresando el número de programa almacenado para el nitrógeno de sulfato de alto rango (SO_4^{2-}). Se hizo girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 680 nm, se llenó una celda para espectrofotómetro con 25 mL de muestra. Seguidamente se agregó el contenido de una bolsa de polvo de reactivo de nitrato sulfato Ver 5 a la celda se presionar ENTER; luego se visualizó el resultado en mg/L.

Nitratos

Fundamento: la medición por espectrofotometría de nitratos consiste en absorción de la luz en el rango ultravioleta (UV), a la longitud de onda de 420 nm que permite la determinación de nitratos. El alcance de esta corrección empírica está relacionada con

la naturaleza y con la concentración de la materia orgánica y puede variar de un tipo de agua a otra.

Procedimiento

Se utilizó el espectrofotómetro ingresando el número de programa almacenado para el nitrógeno de nitrato de alto rango ($\text{NO}_3^- \text{N}$). Se hizo girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 420 nm, se llenó una celda para espectrofotómetro con 25 mL de muestra.

Seguidamente se agregó el contenido de una bolsa de polvo de reactivo de nitrato NitraVer 5 a la celda, se presionó ENTER en el espectrofotómetro; luego se visualizó el resultado en mg/L de nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3^- \text{N}$).

Cloruros

Fundamento: el método nitrato mercúrico consiste en la titulación del ión cloruro con nitrato mercúrico para la formación de cloruro mercúrico soluble, ligeramente disociado. La difenilcarbazona indica el punto final de la titulación por la formación de un complejo color púrpura con los iones mercúricos en exceso. El xolenocianol sirve como indicador de pH y para resaltar el punto final.

Procedimiento

Se insertó un tubo de alimentación limpio en el cartucho de titulación.

Se hizo girar la perilla de descarga para expulsar algunas gotas al titulador. Se reinició el contador a cero y se limpió la punta

Seguidamente se utilizó una probeta o pipeta para medir el volumen de la muestra. Se transfirió la muestra al frasco de Erlenmeyer limpio de 250 mL. Se diluyó aproximadamente hasta la marca de 100 mL agua destilada, en algunas muestras.

Luego se agregó el indicador dicromato de potasio y la muestra se tornará de color amarillo luego se hizo girar el frasco mientras se titula con nitrato de plata desde amarillo a rosa. Se registró el número de dígitos requeridos

Dureza total

Fundamento: El método volumétrico con EDTA para determinar calcio y magnesio utiliza soluciones de ácido etileno diamino tetracético o de sales de sodio como agente titulador, forma un complejo quelado soluble cuando se adicionan a una solución de ciertos cationes metálicos los cuales forman iones complejos solubles con calcio y magnesio. Los indicadores utilizados son el colorante negro ericromo T que indica

cuando todos los iones de calcio y magnesio han formado complejos con EDTA a pH 10; entonces la solución toma un color vino rojo.

El otro indicador es la murexida el cual determina únicamente los iones calcio 12 – 13, por ello se prefiere titular con EDTA. En este caso al adicionar EDTA como titulante los iones de calcio y magnesio serán complejados paulatinamente hasta que la solución adquiere un color azul, lo que indicará el final de la titulación.

Procedimiento:

Se insertó un tubo de alimentación limpio en el cartucho de titulación.

Se hizo girar la perilla de descarga para expulsar algunas gotas al titulador. Se reinició el contador a cero y se limpió la punta

Seguidamente se utilizó una probeta o pipeta para medir el volumen de la muestra. Transfiriendo la muestra al frasco de Erlenmeyer limpio de 250 ml. Se diluyó aproximadamente hasta la marca de 100 ml agua destilada, en algunos casos fue necesario.

Luego se agregó 0.5 ml de buffer mientras se tituló con EDTA desde rosa a azul. Se registró el número de dígitos requeridos

3.4.2.3. Parámetros bacteriológicos

Fundamento: El método de filtrado de membrana (MF) es una manera rápida y simple de estimar las poblaciones bacterianas en el agua. El método MF es especialmente útil al evaluar grandes volúmenes de muestras o al realizar diariamente muchas pruebas de coliformes. En el primer paso, se filtra un volumen de muestra apropiada a través de un filtro de membrana con poros lo suficientemente pequeños (0,45 micrones) como para retener las bacterias con ayuda de una bomba al vacío. El filtro se coloca en una almohadilla absorbente (en una placa petri) saturada con un medio de cultivo selectivo para el crecimiento del coliforme. La placa petri que contiene el filtro y la almohadilla se incubó en posición invertida durante 24 horas a una temperatura apropiada. Después de la incubación, las colonias que se formarán realizando el conteo correspondiente.

Procedimiento

Se limpió el lugar de trabajo

Luego se preparó las placas petri, matraz, pinzas, almohadillas y caldos de cultivo debidamente esterilizados listas para utilizarlos.

Se rotuló las placas petri

Se colocó las almohadillas y los medios de cultivo para coliformes totales (m-endo), coliformes fecales (m-FC) y bacterias heterótrofas (m-TGE) respectivamente

Con una pinza esterilizada con la llama del mechero se colocó un filtro de membrana con las rejillas hacia arriba. Se vertió la muestra en el embudo.

Una vez que se extrajo la muestra se apagó el equipo de filtrado y se retiró la membrana con una pinza esterilizada y se insertó en la placa petri con los medios de cultivo.

Se realizó los mismos pasos para las muestras restantes.

Dilución de las muestras

Pueden necesitarse volúmenes muy pequeños para evaluar las muestras de agua con alto contenido de coliformes. Dado que resulta prácticamente imposible medir estos pequeños volúmenes con exactitud, se debe realizar una serie de diluciones.

Incubación

Las muestras de filtro de membrana se incubaron a 24 horas a 35°C y 44°C respectivamente.

Para bacterias heterotróficas se incubó 48 horas.

3.5. Método estadístico

Análisis de datos

El análisis e interpretación de datos fueron del tipo descriptivo unidimensional (estadística descriptiva) (Zea, 2001)

Los parámetros físicos: conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbidez fueron expresadas en medidas de tendencia central (Media aritmética) y de dispersión (Error estándar y valores extremos)

Los parámetros químicos: pH, sulfatos, nitratos, cloruros y dureza total fueron expresadas en medidas de tendencia central (Media aritmética) y de dispersión (Error estándar y valores extremos)

Los parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes termotolerantes o fecales y bacterias heterotróficas fueron expresadas en medidas de tendencia central (Media aritmética) y de dispersión (Error estándar y valores extremos)

Diseño experimental

Los datos fueron analizados en un diseño completo al azar, siendo el modelo aditivo lineal el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde

X_{ij} : Variable respuesta

μ : Media poblacional

T_i : Efecto del i-esimo tratamiento (tipo de pozo)

ϵ_{ij} : Error experimental

Para el contraste de medias se utilizó la prueba de significancia múltiple de Duncan a un $\alpha = 0.05$; los datos fueron procesados en el programa computacional SAS Versión 9.00

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca se presentan en los cuadros siguientes.

4.1. Parámetros físicos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

4.1.1. Conductividad

Cuadro 1. Conductividad eléctrica en aguas de pozos artesanales y tubulares en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	1500	1636.25 \pm 86.39 ^b	800	2640
Tubular	38	1500	1082.18 \pm 81.79 ^a	460	3120

La conductividad total en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 1636.25 \pm 86.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en pozos tubulares 1082.18 \pm 81.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ANDEVA ($P \leq 0.05$) demostró diferencia significativa encontrándose mayor valor de conductividad en pozos artesanales comparados con los pozos tubulares. (Cuadro 1)

El promedio de pozos artesanales (1636.25 \pm 86.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$), se encontró por encima de los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$); y el valor de la conductividad eléctrica de pozos tubulares está dentro de los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA

La mayor conductividad eléctrica en pozos artesanales se debe a la contaminación de las aguas subterráneas relacionada principalmente con el nivel freático que es poco profundo; este riesgo para la calidad del agua se debe a que la ciudad cuenta con un drenaje sanitario y pluvial deficiente, originado así el uso de pozos sépticos en las casas, gran parte de estas escurren o se infiltran hacia ellos tal como reporta Granel *et al.* (2002). Este efecto del incremento de la conductividad en las aguas de pozos superficiales estaría también directamente relacionado con el aporte de residuos sólidos por efecto dilución al momento en que la lluvia llega

al suelo diferentes factores comienzan a afectar su uso futuro como fuente de consumo humano tal como menciona Orozco *et al.* (2008)

La conductividad eléctrica del estudio es superior a los reportados por Pérez *et al.* (2003) quienes reportan valores entre 383 – 639 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aguas subterráneas de Zimapán en México, asimismo por Orozco *et al.* (2008) quienes cifran valores de 71 - 496 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Montes de Oca Martínez (2009) quien reporta una conductividad de 153.9 – 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es probable que estas diferencias sean por las condiciones del medio ambiente tal como menciona Granel *et al.* (2002); por otro lado los valores están dentro de los parámetros obtenidos por Vence *et al.* (2009) quienes reportan una conductividad de 221- 5270 $\mu\text{S} /\text{cm}$ en agua subterránea de las zonas La Paz y San Diego en Colombia; donde se evidencia un proceso de restauración del suelo, influenciada por el aumento de la materia orgánica.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de conductividad a través de la medición directa, se determina que el agua de pozos artesanales no son aptas para consumo humano por mostrar valores que exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

4.1.2. Temperatura

Cuadro 2. Temperatura en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca ($^{\circ}\text{C}$) - 2016

Tipo de pozo	n	Promedio \pm EE	Valores extremos	
			Mínimo	Máximo
Artesanal	32	14.49 \pm 0.38 ^a	10.20	20.00
Tubular	38	14.52 \pm 0.40 ^a	10.30	17.50

La temperatura en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 14.49 \pm 0.38 $^{\circ}\text{C}$ en pozos artesanales y en pozos tubulares fue 14.52 \pm 0.40 $^{\circ}\text{C}$, ANDEVA (P > 0.05) demostró que no existe diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 2)

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el

pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de microorganismos tal como reportan Metcalf y Eddy (1995).

Por las condiciones ambientales de altura las temperaturas reportadas en el estudio son inferiores a los obtenidos por Orozco *et al.* (2008) quienes determinaron la temperatura en puntos muestreados en la costa de Chiapas en México y estos son superiores a los 26.0 °C, características de las condiciones ambientales del trópico húmedo, siendo la menor temperatura (26.3°C) y la mayor temperatura (28.9°C), este último punto está ubicado en una zona urbana. Por otro lado Vence *et al.* (2009) Reportaron una temperatura de 27,5 °C 31,70 °C en agua subterránea de las zonas La Paz y San Diego en Colombia, por otro lado Montes de Oca (2009) reportó una temperatura de 23.2 y 28.4 °C siendo el promedio de la temperatura del agua subterránea de 25.2 °C para la zona de El Pedregal y 25.1 °C para San Francisco en Honduras.

La temperatura promedio de aguas de pozos artesanales y tubulares están dentro de los valores ambientales de temperatura para los meses en estudio (febrero-junio) que varía de 4 a 17 °C (SENAMHI, 2016) respecto a este parámetro Orozco *et al.* (2008) mencionan que la temperatura de un acuífero desde 10 hasta 100 m de profundidad es cercana a la temperatura ambiental promedio de una región y puede resultar en un factor que favorezca a diferentes procesos tanto químicos como biológicos.

4.1.3. Sólidos totales disueltos

Cuadro 3. Sólidos totales disueltos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (mg/L) - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	1000	785.03 \pm 41.12 ^b	396	1201
Tubular	38	1000	509.82 \pm 41.20 ^a	198	1532

Los sólidos totales disueltos en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 785.03 \pm 41.12 mg/L y en pozos tubulares fue 509.82 \pm 41.20 mg/L, ANDEVA ($P \leq 0.05$) demostró diferencia significativa

encontrándose mayor concentración de sólidos totales disueltos en pozos artesanales comparados con pozos tubulares. (Cuadro 3)

En aguas de pozos artesanales el valor de sólidos totales disueltos totales fueron mayores que en las aguas de pozos tubulares, sin embargo ambos promedios se encontraron por debajo de los límites máximo permisibles (1000 mg/L) emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbiedad y claridad, gusto, color y olor del agua (OMS, 2003).

Este efecto del incremento de sólidos disueltos totales en las aguas de pozos artesanales superficiales estaría directamente relacionado por el aporte de residuos sólidos por efecto dilución al momento en que la lluvia llega al suelo, así como diferentes factores comienzan a afectar su uso futuro como fuente de consumo humano tal como menciona Orozco *et al.* (2008)

Los resultados del estudio son similares a los reportados por Vence *et al.* (2009) quienes cifran valores de 120 – 2630 mg/L, Robles *et al.* (2013) reportan valores entre 328 – 1198 mg/L; y superiores a los citados por Pérez *et al.* (2003) quienes cifran valores de 188 – 317 mg/L, se debe referir que los valores de los sólidos totales disueltos indican la presencia de materiales en suspensión, tales como arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica; probablemente la mayor concentración de sólidos totales disueltos en aguas de pozos artesanales mostró un incremento relacionado con la presencia de lluvias en el periodo de estudio, tal como menciona Orozco *et al.* (2008).

En general se aprecia un incremento en la concentración de los sólidos totales disueltos en los pozos de menor altitud respecto a los de mayor altitud como consecuencia de la disolución de los minerales de las rocas del suelo durante su flujo de las partes altas hacia las bajas tal como indica Robles *et al.* (2013).

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de sólidos totales disueltos a través de la medición directa, se determina que el agua de pozos

artesanales y tubulares son aptas para consumo humano por mostrar valores que están dentro los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (1000 mg/L).

4.1.4. Turbiedad

Cuadro 4. Turbiedad en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (NTU) - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artisanal	32	5	2.15 \pm 0.39 ^a	0.14	7.86
Tubular	38	5	3.09 \pm 0.42 ^a	0.10	8.91

La turbiedad en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 2.15 \pm 0.39 NTU y en pozos tubulares fue de 3.09 \pm 0.42 NTU, ANDEVA (P>0.05) no muestra diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 4)

El promedio de pozos artesanales y tubulares se encontraron dentro de los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (5 NTU).

La turbiedad del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton, sedimentos procedentes de la erosión y microorganismos. La turbiedad se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficiencia de la filtración para determinar si hay presencia de organismos que provocan enfermedades (Marcó *et al.*, 2004).

Los valores del estudio son inferiores a los reportes por Esparza *et al* (2005) en aguas de pozos de Pelipeline y Jallamilla del distrito de Achaya Azángaro - Puno, quienes citan valores de 20.50 NTU a 141 NTU.

Los resultados del estudio son similares a los reportados por Montes de Oca (2009) en valle de Yeguare – Honduras, quien reporta valores de 0.02 - 123 NTU con una media de 16.81 NTU y Vence *et al.* (2009) reportan valores de 0 – 23.3 NTU; esta semejanza posiblemente se deba a que, hay presencia de ganadería y

agricultura en el sector Taparachi III - Juliaca; además Pérez *et al.* (2003) cifran valores de turbiedad de aguas subterráneas que oscilan entre 0.24 – 0.72 NTU, por otra parte Robles *et al.* (2013) reportan valores que oscilan entre 0.14 – 0.77 NTU, los niveles altos de turbiedad indican presencia de materiales en suspensión como materiales, partículas, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y microorganismos tal como mencionan Vence *et al.* (2009).

Por consiguiente de acuerdo a los resultados obtenidos, el parámetro de turbiedad indica que el agua de estos pozos son aptos para consumo humano según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (5 NTU).

Por todo lo expuesto en párrafos anteriores, se rechaza la hipótesis planteada, dado parámetros físicos: conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y turbiedad se encuentran dentro de los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Mientras que se acepta la hipótesis planteada para la conductividad en pozos artesanales que si excedieron el LMP.

4.2. Parámetros químicos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

4.2.1. pH

Cuadro 5. pH en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (UpH) - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	6.5 – 8.5	7.39 \pm 0.08 ^a	6.13	8.05
Tubular	38	6.5 – 8.5	7.14 \pm 0.12 ^a	4.50	8.25

El pH total en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron 7.39 \pm 0.08 UpH y en pozos tubulares fue de 7.14 \pm 0.12 UpH, ANDEVA (P>0.05) no muestra diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 5)

Los promedios de pH de aguas de pozos artesanales y tubulares, se encontraron dentro de los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (6.5 a 8.5 UpH)

La concentración de ión hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales; todas las fases del tratamiento del agua para suministro, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrogeno o pH; el pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con pHmetro; el pH no ejerce efectos directos en los consumidores (Metcalf y Eddy, 1995; APHA, 2005).

Los resultados de la investigación son semejantes a los reportados por Pérez *et al.* (2003) quienes cifran valores que oscilan entre 7.0 – 8.0 unidades de pH y a los reportados por Vence *et al.* (2009) quienes obtuvieron valores de 6.71 – 8.2 unidades de pH; además por Orozco *et al.* (2008) reportan valores entre 6.1 – 7.3 unidades de pH. Esta semejanza se puede deber a las profundidades de los pozos.

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales, es preferible que sea un pH inferior a 8 porque valores superiores de pH: 11 produce irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos tal como mencionan Metcalf y Eddy (1995).

El pH presenta una tendencia a pasar de un pH básico a un pH ácido conforme aumentan las lluvias, este efecto se presenta más marcado en las muestras de aguas obtenidas de los pozos, los contaminantes antropogénicos juegan un rol importante en la contaminación del manto acuífero por procesos de difusión por la contaminación presente tal como reporta Orozco *et al.* (2008)

Por consiguiente de acuerdo a los resultados obtenidos, el parámetro de pH indica que el agua de estos pozos (artesanales y tubulares) son aptos para consumo humano según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (6.5 a 8.5 UpH)

4.2.2. Sulfatos

Cuadro 6. Concentración de sulfatos (mg/L) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	250	324.00 \pm 35.75 ^b	50	725
Tubular	38	250	226.18 \pm 34.16 ^a	10	825

La concentración de sulfatos en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 324.00 \pm 35.75 mg/L y en pozos tubulares fue 226.18 \pm 34.16 mg/L, ANDEVA ($P \leq 0.05$) demostró diferencia significativa encontrándose mayor valor de sulfatos en pozos artesanales comparados con los pozos tubulares. (Cuadro 6)

El promedio de pozos artesanales es mayor a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (250 mg/L); y en aguas de pozos tubulares está dentro de los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

Las mayores concentraciones por lo común están en aguas subterráneas y estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas, por lo tanto el sulfato (SO_4^{2-}) se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de mg/L tal como mencionan Severiche y González (2012).

Se observa un incremento de sulfatos por efecto de las lluvias tal como reporta Orozco *et al.* (2008) hecho que se evidencia en la mayor concentración de sulfatos en pozos artesanales superficiales respecto a los pozos tubulares por efecto de dilución.

Los resultados del estudio son similares a los valores reportados por Robles *et al.* (2013) que oscilan entre 49.80 – 740 mg/L con un promedio de 272.90 mg/L. esta semejanza se debe a las actividades antropogénicas que deterioran la calidad del

agua; por otra parte los resultados del estudio son superiores a los reportes de Pérez *et al.* (2003) quienes cifran valores que oscilan entre 19.03 – 54.84 mg/L, además Orozco *et al.* (2008) reportan valores entre 38 – 145 mg/L.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de sulfatos indican que el agua de pozos artesanales (324.00 mg/L) no son aptos para consumo humano porque están excediendo los LMP establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (250 mg/L)

4.2.3. Nitratos

Cuadro 7. Concentración de nitratos (mg/L) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio ± EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	50	34.10 ± 3.22 ^a	3.54	66.71
Tubular	38	50	28.40 ± 3.70 ^a	5.32	56.70

La concentración de nitratos en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 34.10 ± 3.22 mg/L y en pozos tubulares fue 28.40 ± 3.70 mg/L, ANDEVA (P>0.05) no muestra diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 7)

El promedio de pozos artesanales y tubulares es menor a los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (50 mg/L) no existe efecto del tipo de pozo.

Las altas concentraciones de nitratos indican la disolución de rocas que los contengan o la oxidación de la materia orgánica por acción bacteriana o lixiviados generados a partir de la fertilización o excretas tal como menciona Vence *et al.* (2009). Los valores reportados en el estudio probablemente se debe a la contaminación causada por la acumulación de excretas humanos y animales estos pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no absorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas tal como menciona Muñoz *et al.* (2004).

Los resultados reportados son semejantes a los valores citados por Vence *et al.* (2009) quienes cifran valores de 0,613 mg/L como valor mínimo y 128,824 mg/L como valor máximo y son superiores a los citados por Pérez *et al.* (2003) y Robles *et al.* (2013) reportan valores que oscilan entre 0.04 – 3.17 mg/L y 0.81 – 2.20 mg/L respectivamente, sobre el particular Pacheco *et al.* (2004) reportaron cifras de 45 mg/L hasta 96 mg/L, así como Pérez y Pacheco (2004) reportaron valores de 224.63 mg/L, esto debido al aumento de fertilizantes nitrogenados comerciales empleados en la agricultura y al retorno de desechos derivados de la explotación pecuaria u otras fuentes al suelo.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de nitratos indican que el agua de pozos tubulares y artesanales son aptas para consumo humano por ser menores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (50 mg/L)

4.2.4. Cloruros

Cuadro 8. Concentración de cloruros en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio ± EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	250	206.50 ± 21.34 ^b	6	615
Tubular	38	250	134.31 ± 19.77 ^a	4	470

El cloruro total en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 206.50 ± 21.34 mg/L y en pozos tubulares fueron de 134.31 ± 19.77 mg/L, ANDEVA (P ≤ 0.05) demostró diferencia significativa encontrándose mayor valor de cloruros en pozos artesanales comparados con los pozos tubulares. (Cuadro 8)

El promedio de las aguas de los pozos artesanales presentan mayor concentración que las aguas de pozos tubulares, sin embargo ambas concentraciones están dentro de los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (250 mg/L)

Los valores reportados por el estudio son superiores a los estudios de Pérez *et al.* (2003) y Robles *et al.* (2013) quienes reportan valores que oscilan entre 1.06 –

5.94 mg/L y 3.8 – 30.7 mg/L, respectivamente. Por otra parte Vence *et al.* (2009) reportaron valores de 0,0035 - 0,600 mg/L que son inferiores a los encontrados por éstos dos últimos. Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan en contacto con el agua, otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales; las heces humanas, pero en concentraciones superiores a 250 mg/L este valor está basado en el sabor del agua el cual es percibido organolépticamente, y no en algún daño fisiológico conocido tal como menciona Metcalf y Eddy (1995).

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de cloruros indican que el agua de pozos tubulares y artesanales son aptas para consumo humano por ser inferiores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (250 mg/L)

4.2.5. Dureza total

Cuadro 9. Dureza total en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca (mg/L)

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio ± EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artisanal	32	500	628.91 ± 48.78 ^b	100	1700
Tubular	38	500	438.91 ± 45.33 ^a	35	1210

La dureza total en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fue de 628.91 ± 48.78 mg/L, y en pozos tubulares fue 438.91 ± 45.33 mg/L, ANDEVA (P ≤ 0.05) demostró diferencia significativa encontrándose mayor valor de dureza total en pozos artesanales comparados con los pozos tubulares. (Cuadro 9)

El promedio de las aguas de los pozos artesanales (628.91 mg/L) es mayor a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (500 mg/L), y en aguas de pozos tubulares son inferiores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

La dureza total clasificados como valores altos mayores a 500 mg/L se deben a la presencia en una proporción mayor de los minerales disueltos como carbonatos dolomita y anhidrita tal como refiere Pacheco *et al* (2004). La presencia de altos valores de dureza total cálcica y magnésica se debe al paso a través de la caliza disolviendo los compuestos de calcio y magnesio tal como reporta Vence *et al.* (2009).

Los valores reportados en el estudio son superiores en dureza a agua de pozos de zonas rurales de Pelipeline Achaya Azángaro - Puno citados por Esparza *et al.* (2005) quienes citan valores entre 83.80 mg/L a 219.80 mg/L.

Los resultados del estudio se encontró en los valores reportados en estudios realizados en Morelos México en acuíferos (pozos de agua potable antes de añadirle cloro) por Robles *et al.* (2013) quienes reportan valores entre 145 mg/L a 700.36 mg/L.

En investigaciones realizadas por Pérez *et al.* (2003) reportan valores entre 150.80 mg/L a 348.60 mg/L, sobre el particular Vence *et al.* (2009) en aguas subterráneas en los municipios de la Paz y San Diego Colombia, reporta valores de 15 mg/L a 180 mg/L cifras inferiores al presente estudio.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de dureza total indican que el agua de pozos artesanales son no aptos para consumo humano por tener valores que excedieron los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (500 mg/L)

Por todo lo expuesto en párrafos anteriores se acepta la hipótesis planteada, dado que los parámetros químicos que excedieron los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Fueron: sulfatos y dureza total en agua de pozos artesanales y tubulares. Mientras que se rechaza la hipótesis planteada, afirmándose que los parámetros de pH, nitratos y cloruros no exceden el LMP.

4.3. Parámetros bacteriológicos en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca.

4.3.1. Coliformes totales

Cuadro 10. Coliformes totales (UFC/100mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio \pm EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	0	378.16 \pm 96.03 ^a	6	2000
Tubular	38	0	226.21 \pm 62.60 ^a	8	1600

Los coliformes totales en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fue de 378.16 \pm 96.03 UFC/100 mL y en pozos tubulares fue de 226.21 \pm 62.60 UFC/100 mL ANDEVA (P>0.05) no muestra diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 10)

El promedio de las aguas de los pozos artesanales y pozos tubulares (378.16 \pm 96.03^a y 226.21 \pm 62.60^a) respectivamente exceden los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (0 UFC/100 mL)

La existencia de alguna correlación de influencia puede deberse a factores que además de la contaminación por basura y las descargas directas de aguas residuales son factores que influyen tal como reporta Orozco *et al.* (2008). La calidad microbiológica de las muestras se deben a la disposición inadecuada de los desechos domésticos, las prácticas de saneamiento en el lugar, entre otros tal como menciona Pacheco *et al* (2004).

Las concentraciones de los indicadores de contaminación fecal son reflejo de los constantes efluentes que reciben por lo que es difícil que se observen procesos de autodepuración a pesar de la profundidad tal como menciona Campos *et al.* (2008).

En investigaciones de aguas de pozos artesanos empleando indicadores de contaminación como coliformes totales Mamani (1994) en los barrios marginales de la ciudad de Juliaca encontró 1679.12 NMP coliformes totales /100mL debido probablemente a que los pozos son contaminados con los sistemas de evacuación

de aguas servidas y la falta de protección de estos. Soto (2013) al determinar la calidad bacteriológica de aguas de pozo en los mercados de la ciudad de Puno reporto que en el mercado Bellavista existe 827.25 NMP de coliformes totales /100 mL

Quintero y Herrera (2009) reportaron valores superiores al estudio en todas las muestras de aguas examinadas, estas presentaron algún tipo de contaminación microbiológica, principalmente por coliformes totales; 440 UFC/100 mL en el primer muestreo, 2600 UFC/100 mL en el segundo muestreo, 225 UFC/100 mL en el tercer muestreo y 105 UFC/100 mL en el cuarto muestreo, resultados similares fueron citados por Fragozo (2007) con valores de 280 UFC/100 mL - 599.000 UFC/100 mL de Coliformes. Mientras que Robles *et al* (2013) encontraron 83×10^5 UFC/100 mL, valores superiores al estudio.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de coliformes totales indican que el agua de pozos tubulares y artesanales no son aptos para consumo humano por ser menores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (0 UFC/100 mL)

4.3.2. Coliformes fecales

Cuadro 11. Coliformes fecales (UFC/100 mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio ± EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	0	107.22 ± 43.16 ^b	0	1240
Tubular	38	0	27.79 ± 6.67 ^a	0	200

Los coliformes fecales en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 107.22 ± 43.16 UFC/100mL y en pozos tubulares fue de 27.79 ± 6.67 UFC/100 mL ANDEVA ($P \leq 0.05$) demostró diferencia significativa encontrándose mayor valor de coliformes fecales en pozos artesanales comparados con los pozos tubulares. (Cuadro 11)

El promedio general de los pozos artesanales presentan mayores valores que aguas de pozos tubulares (107.22 ± 43.16^b y 27.79 ± 6.67^a) respectivamente las

aguas en ambos casos exceden el límite máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA (0 UFC/100 mL).

En muestras de aguas de pozos de Ananea Puno, Chambi (2015), reporta valores promedio de 14.85 UFC/100 mL no aptas para el consumo humano. Mientras que Aurazo (2004) señala que la presencia de coliformes como *E. coli* indica polución o contaminación fecal.

Así mismo Orozco *et al.* (2008) reportaron valores elevados de 457 – 4358 UFC/100 mL de coliformes fecales en aguas de pozos superficiales y subterráneos, debido a la mayor actividad antropocéntrica y a la existencia de tiraderos de basura a cielo abierto y creciente producción de residuos sólidos que provienen de basura doméstica, por lo que se considera el arrastre de contaminantes.

Por otra parte Montes de Oca (2009) reportó que la mayor parte sobrepasa los valores recomendados según la norma técnica. Solo en algunos no se detectaron unidades formadoras de colonias. Por otro lado se llegaron a obtener conteos de hasta 6,300 UFC/100 mL y en El Pedregal la mayoría de pozos no presentaron UFC; sin embargo, hubo tres pozos que no cumplieron la norma alcanzando un valor de 1200 UFC/100 mL. Por otra parte Campos *et al* (2008) reportaron valores de 2 – 5.85 UFC/100 mL y en los acuíferos de Tilatá y Guadalupe encontró 1 – 3.29 UFC/100 mL y 0.3 – 1.88 UFC/100 mL respectivamente.

En investigaciones Quintero y Herrera (2009) reportaron que existe una contaminación microbiológica por organismos coliformes fecales en los acuíferos, ya que se detectó la presencia de estas bacterias en todos los pozos y en todos los meses en que se realizaron los muestreos. 346 UFC/100 mL en el primer muestreo, 2600 UFC/100 mL en el segundo muestreo, 86 UFC/100 mL en el tercer muestreo, y 33 UFC/100 mL en el cuarto muestreo.

Este resultado es comparable al reportado por Fragozo (2007), quien detectó presencia de coliformes fecales en rangos de 50-1200 UFC/100 mL, valores mínimos de 280 UFC/100 mL de coliformes y máximos de 599.000 UFC/100 mL de coliformes. Pacheco *et al.* (2004) indicó en sus reportes que la calidad

microbiológica de las muestras de agua subterránea de los estados de Yucatán (México) pueden clasificarse como aceptables en un 45%; contaminadas en un 23%; peligrosas en un 18% y muy contaminadas en un 14%. Esta contaminación se puede deber a la disposición inadecuada de los desechos domésticos, las prácticas de saneamiento en el lugar, la disposición inadecuada de los desechos de granjas, entre otras.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de coliformes fecales indican que el agua de pozos tubulares y artesanales no son aptas para consumo humano por ser menores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (0 UFC/100 mL)

4.3.3. Bacterias heterotróficas

Cuadro 12. Bacterias heterotróficas (UFC/100mL) en aguas de pozos en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca - 2016

Tipo de pozo	n	LMP	Promedio ± EE	Valores extremos	
				Mínimo	Máximo
Artesanal	32	500	303.47 ± 74.58 ^a	15	1520
Tubular	38	500	217.79 ± 56.98 ^a	8	1520

Las bacterias heterotróficas en aguas de pozos artesanales en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca fueron de 303.47 ± 74.58 UFC/100 mL y en pozos tubulares fue de 217.79 ± 56.98 UFC/100 mL ANDEVA (P>0.05) no muestra diferencia significativa para esta variable. (Cuadro 12)

El promedio de las aguas de los pozos artesanales y tubulares presentaron valores menores al límite máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (500 UFC/100 mL).

Cutimbo (2012) en pozos del distrito de La Yarada y Los Palos en Tacna reporta que de 46 muestras de pozos, 45 son aceptables por la norma y 1 muestra excedería los límites máximos permisibles para bacterias heterotróficas.

Por consiguiente de acuerdo a los resultados de análisis de bacterias heterotróficas indican que el agua de pozos tubulares y artesanales son aptas para consumo

humano por ser menores a los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (500 UFC/100 mL)

Por lo expuesto en párrafos anteriores se acepta la hipótesis planteada dado que, los parámetros bacteriológicos que excedieron los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Fueron: coliformes totales y coliformes fecales en agua de pozos artesanales y tubulares. Mientras que se rechaza la hipótesis planteada para bacterias heterotróficas que no exceden el LMP.

V. CONCLUSIONES

Los parámetros físicos de aguas de pozos artesanales y tubulares: temperatura, sólidos totales disueltos y turbiedad de acuerdo a los resultados encontrados no exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Esto indicaría que las aguas de pozos son aptas para consumo humano.

Los parámetros químicos de aguas de pozos artesanales y tubulares: pH, nitratos y cloruros; de acuerdo a los resultados encontrados no exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Esto indicaría que las aguas de pozos son aptas para consumo humano.

Los parámetros bacteriológicos, coliformes totales y coliformes fecales de aguas de pozos artesanales y tubulares exceden los LMP emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Por este motivo a pesar que los parámetros físicos y químicos no exceden en su totalidad los LMP, se demostró que bacteriológicamente si hay presencia de coliformes, por lo tanto el agua de pozos artesanales y tubulares son considerados no aptos para el consumo humano.

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar programas de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, por parte de la Municipalidad Distrital de San Román a través de la EPS. SEDAJULIACA S.A, DIGESA y Red de Salud San Román.

Educar a la población como medida inmediata sobre cómo hacer uso del agua proveniente de pozos en labores domésticas, agrícolas, comerciales entre otros.

Realizar potabilización, desinfección y cloración en aguas de pozo a través de la E.P.S SEDAJULIACA S.A. para evitar problemas en la salud de la población.

Identificar las zonas de abastecimiento más vulnerables a la variación de la calidad del agua de consumo humano identificar las fuentes de contaminación.

Identificar *Escherichia coli* enteropatógeno en aguas de pozo o aguas subterráneas de consumo humano por ser patógeno y por su implicancia en la salud del consumidor.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acaso, E., Martín, M., Moya, M^a. E., Ruíz, B., Calonge, A. Geología y geomorfología del campus externo de la Universidad de Alcalá. Cuadernos del Campus. Naturaleza y Medio Ambiente. España. 2006.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington DC. 2005.
- Aurazo M. Manual para análisis básicos de calidad del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente. Lima - Perú. OPS/OMS/CEPIS/PUB. 2004: 04.103
- Cabelli C.; Dufour E.; Mc Cabe J.; Levin A. A marine recreational water quality criterion consistent with indicator concepts and risk analysis. Journal WPCF. 1983; 55 (10): 1306-1314.
- Campos. C., Cárdenas, M., Guerrero, A., Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de agua de la sabana de Bogotá (Colombia). Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales. Bogotá, Colombia. 2008.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA. Protection and Sustainable USE of Waters: Recommendations to ECE Governments. Ginebra. 1995.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (CEPIS/OPS). Proyecto de capacitación para los laboratorios de El Salvador, Nicaragua y Honduras. Programa de mejoramiento de la capacidad de los laboratorios de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Lima, Perú. 2000.
- Chambi G. Determinación de bacterias coliformes y *E. coli* en agua de consumo de los criadores alpaqueros de Trapiche, Ananea – Puno. Tesis para optar el título profesional de Médico Veterinario y Zootecnista UNA-PUNO. 2015
- Contreras, G.J; Cocha, J.M.; Martínez, A.M y Aurazo, M.. Efecto Bactericida de Catabolitos de *Pseudomonas aeruginosa* sobre Coliformes fecales en Agua de Consumo. Lima. 1996
- Cuéllar, N. y Duarte, R. Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador tendencias y desafíos para la gestión territorial. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente (Prisma). El Salvador, Nicaragua. 2001

- Cutimbo C. Calidad bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano en centros poblados menores de La Yarada y Los Palos del distrito de Tacna. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Facultad de Ciencias, Escuela Académico Profesional de Biología – Microbiología. Tacna- Perú. 2012
- DIRECCION GENERAL DE SALUD (DIGESA). RM 258-2011. Lima – Perú. 2011
- Eaton A., Clesceri E., Rice A., Greenberg M., y Franson H. Standard methods for the examination of water and wastewater: Centennial edition. Washington DC: American Public Health Association. 2005; 1368 p.
- Ebbing D. Química General, 3ª ed, Houghton Mifflin. 1990
- Esparza M., Noriega R., Wong M.,y Inamine A. Estudio para el mejoramiento de la calidad del agua de pozos en zonas rurales de Puno. Lima – Perú. 2005
- Fattal, B.; Peleg-Olevsky, E.; Agursky, T. y Shuval, H. The association between seawater pollution as measured by bacterial indicators and morbidity among bathers at Mediterranean bathing beaches of Israel. 1987.
- Fawell J, y Nieuwenhuijsen M. J. Contaminants in drinking water, environmental pollution and health. Br. Med. Bull., 2003; 68(1): 199-208.
- Fragozo, P. Evaluación Hidrogeoquímica del agua subterránea en los municipios de Bosconia, Copey, Valledupar, La Paz y San diego ecorregión del valle del Rio Cesar. 2007
- Galdiano V., Souza M., Borella I. y Quaglia C. Manual de Perforación de Pozos Tubulares para Investigación y Captación de Agua Subterránea en el «Sistema Acuífero Guaraní» Primera edición, Montevideo, 2007
- Gramajo P. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. 2004
- Grael C; Gález H; y Foster S. Deterioro de la calidad de agua subterránea por el desarrollo poblacional: Ingeniería, Cancún, Quintana Roo. 2002; 6, 41 – 53.
- Hirata, R. y Rebouças, A. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. 2001
- Herrera I., y Quintero D. Microbiología de Aguas Subterráneas en la Región Sur del Municipio de Valledupar-Cesar. Trabajo de Grado. Departamento de Microbiología. Universidad Popular del Cesar. 2009
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA. Censo Poblacional 2007 Región Tacna Capitulo III, Hidrogeología Regional. 2012

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA.

- Criterios para el perfeccionamiento de las Normas de Calidad Sanitaria de las aguas de Uso recreativo. Ministerio de Salud. CUBA. 1992.
- Kornacki J. L. & Johnson J. L. Enterobacteriaceae, Coliforms, and Escherichia coli as Quality and Safety Indicators. In: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Washington. 2001
- Mamani S.H. Determinación de la contaminación bacteriológica del agua para consumo humano proveniente de pozos artesianos de los barrios urbanos marginales de la ciudad de Juliaca. Tesis M.V.Z UNA – PUNO. 1994
- Manual para análisis de agua HACH (2000)
- Marcó L., Azario R., Metzler C., y García M. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción. Uruguay. 2004
- Metcalf y Eddy. “Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización”, 3ª ed. Mc Graw-Hill, Madrid. 1995.
- Montes de Oca, J. Diagnóstico de la Calidad de Agua en Pozos Excavados de Tres Comunidades del Valle del Yeguaré, Honduras. Carrera de desarrollo socioeconómico y ambiente. 2009
- Mora, D. Situación del agua de consumo humano y evacuación de excretas en América Latina y el Caribe. Reunión Regional sobre la Calidad del Agua Potable. Lima, CEPIS. 1996
- Munn, CB. Marine Microbiology: ecology and applications. New York: BIOS Scientific Publisher. 2004.
- Muñoz, H., Armienta, A., Vera, A., y Cenicerros, N. Nitrato en el agua subterránea del valle de Uamantla, Tlaxcala, México. 2004
- NORMA TECNICA PERUANA. Calidad de agua: muestreo, preservación y manipulación de muestras. 2012
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud. 2003 (WHO/SDE/WSH/03.04/16).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad del agua potable. OMS. Ginebra. 2004

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad del agua potable primer apéndice a la tercera edición Volumen 1 Recomendaciones Organización Mundial de la Salud. 2006
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). Técnicas para la construcción de captaciones de aguas superficiales. 2004.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). Guías para la calidad del agua potable. Vol. 3. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Washington D. C., OPS. 1988.
- Orozco M.; Ramírez F.; y Cruz J. Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos de la costa de Chiapas (México). Hig Sanid Ambient. 2008; 8:348 - 354
- Pacheco, J., Cabrera, A., y Pérez, R., Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán. México. 2004
- Pérez F.; Prieto F.; y Rojas A. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua en Zimapán, México. Hidrobiológica 2003; 13 (2) 95 – 102
- Pérez R. y Pacheco J. Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán. Ing 2004;8 -1;33 - 42
- Reynolds, J. Manejo integrado de aguas subterráneas, Un reto para el futuro. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José. 2002. 348 p.
- Robles E; Ramirez E; Durán A; Martínez M; y Gonzales M. Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo – Axochiapan, Morelos México, 2013. 4(1) 19 – 18.
- Rojas, R. Elementos de vigilancia y control. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima, CEPIS/OPS. 2002
- Sáenz, F. Identificación de áreas críticas para el manejo de la cuenca del río Pacuare, Costa Rica. Tesis Mag. Se. Turrialba, CR, CATIE. 1999. 145 p.
- Sawyer, C.; L. McCarty; y G. Parkin. Química para Ingeniería Ambiental. Editorial Mc Gra Hill, cuarta edición. 2000
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú (SENAMHI). 2014
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú (SENAMHI). 2016
- Severiche C. y González U. Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. Aguas de Cartagena SA ESP Ing. USBMed, 2012; Vol. 3, No. 2, Julio-Diciembre 2012

Sistema de Consulta de Resultados Censales. 29 de noviembre de 2015

Soto, Y. Calidad bacteriológica de agua de pozo y agua potable utilizada en los mercados de la ciudad de Puno – 2012. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Biología. Universidad Nacional del Altiplano. 2013.

Sueiro R. Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering *Escherichia coli* and other coliform bacteria from groundwater samples. *WaterScience and Technology*, 2001. 43:213–216.

Sutton, D. y Harmon, P. *Fundamentos de Ecología*. Limusa Noriega Editores. G. 1999.

Tarbut, E. y Lutgens, F. *Ciencias De La Tierra, Una Introducción A La Geología*. Prentice Hall. 2005

Terán, P. Comparación de métodos para determinación de perímetros de protección de pozos y su aplicabilidad en algunos pozos del sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de El Vigía. Mérida- Venezuela. 2003.

Vence L; Rivera M; Osorio y Castillo A. Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz San Diego, Colombia. *Rev. Inv Agr Ambient*. 2009; 3(2)

Zea, W. *Diseños experimentales*. Facultad de Ciencias Agrarias. UNA Puno. 2001.

ANEXOS

Anexo 1.

Cuadro 13. Parámetros físicos: conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbidez en aguas de pozos en el sector Taparachi III - Juliaca.

N°	CND ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)		STD (mg/L)		TURBIDEZ (NTU)	
	ARTESANALES	TUBULARES	ARTESANALES	TUBULARES	ARTESANALES	TUBULARES	ARTESANALES	TUBULARES
1	2640	1172	15.8	16.7	1200	511	0.665	0.121
2	1450	1086	15.9	15.0	730	456	0.301	1.070
3	1728	737	15.9	14.6	823	256	3.210	0.598
4	1483	460	15.9	17.2	712	198	0.444	4.400
5	1753	730	16.7	19.5	800	330	0.632	0.300
6	1369	752	16.9	13.8	623	235	0.137	0.326
7	1425	1080	16.8	15.0	714	502	0.210	2.150
8	1352	837	16.9	14.5	650	356	0.217	0.500
9	2220	465	16.6	16.2	1000	230	0.323	4.950
10	1566	730	17.2	19.5	741	321	0.958	0.900
11	1768	835	17.5	16.2	812	412	0.505	0.602
12	1247	1140	11.8	10.2	585	541	3.780	5.150
13	2490	835	13.0	12.6	1201	423	0.769	0.102
14	1923	1900	12.3	13.5	925	941	0.323	0.302
15	1941	1845	13.5	11.3	914	854	0.621	4.150
16	1744	1285	13.8	17.3	801	623	0.326	0.725
17	2031	1195	15.6	16.0	1001	498	4.690	4.570
18	2021	742	11.3	16.6	1005	356	3.210	0.672
19	1680	1024	14.4	14.3	840	500	5.380	4.220
20	1102	1913	11.2	14.3	498	901	1.210	1.150
21	1023	816	10.3	17.2	488	396	2.230	2.550
22	2080	1025	11.1	14.3	1032	485	0.968	5.360
23	2280	956	11.8	15.2	1125	402	0.786	4.450
24	2150	990	12.1	12.3	1035	486	3.650	6.210
25	2018	3120	15.0	12.1	1000	1532	1.210	0.243
26	900	904	15.6	11.7	436	446	1.350	0.602
27	1152	646	13.6	11.4	568	312	7.810	1.730
28	1025	1052	15.3	11.2	507	521	4.560	6.100
29	1035	1120	13.2	15.4	499	552	5.330	5.500
30	1012	1052	13.5	12.3	498	516	7.859	5.230
31	800	1125	16.4	14.5	396	554	3.450	8.910
32	1952	1001	16.9	12.3	962	498	1.690	7.900
33		2101		11.6		1042		3.780
34		700		12.5		344		1.760
35		1025		15.4		500		7.410
36		730		20.0		354		0.908
37		1145		12.8		568		5.230
38		852		15.3		421		6.520
PROM	1636.250	1082.184	14.494	14.521	785.031	509.816	2.150	3.088
E. E.	86.39	81.79	0.38	0.40	41.12	41.20	0.39	0.42
MAX.	2640.00	3120.00	17.50	20.00	1201.00	1532.00	7.86	8.91
MIN.	800.00	460.00	10.30	10.20	396.00	198.00	0.14	0.10

Anexo 2.

Cuadro 14. Parámetros químicos: pH, sulfatos, nitratos, cloruros y dureza total en aguas de pozos en el sector Taparachi III - Juliaca.

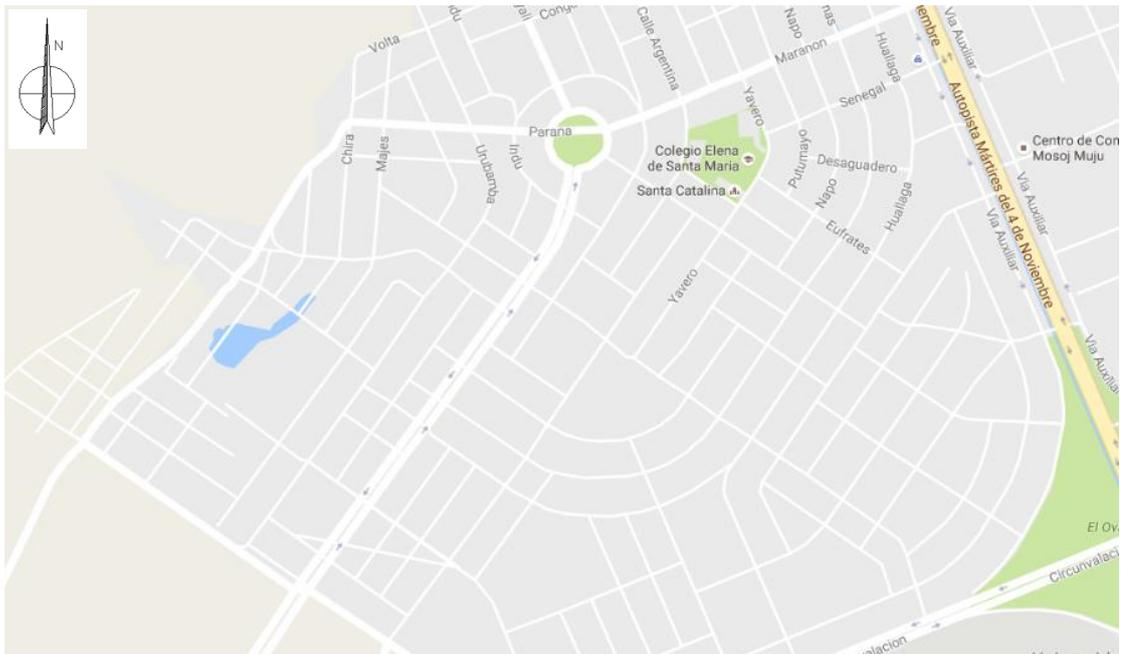
N°	pH		SULFATOS		NITRATOS		CLORUROS		DUREZA TOTAL	
	ART	TUB	ART	TUB	ART	TUB	ART	TUB	ART	TUB
1	7.469	7.815	500	115	24.800	125.000	400	19.93	900	460
2	7.459	7.270	325	120	31.010	35.440	90	40	290	375
3	7.549	7.070	400	85	35.440	34.110	110	35	480	295
4	7.420	7.040	350	10	3.544	15.060	100	4	565	172
5	7.454	6.950	180	70	46.070	21.700	225	50	790	280
6	7.851	7.493	105	325	33.660	37.650	175	25	525	250
7	7.958	7.570	90	125	13.730	35.440	225	50	315	375
8	7.584	7.050	60	56	26.130	35.440	200	50	495	495
9	8.036	7.032	500	15	30.560	15.505	220	6	1200	180
10	7.857	6.750	160	75	24.800	21.700	200	80	720	300
11	7.050	7.050	300	350	55.370	56.704	80	100	800	700
12	8.011	8.200	56	54	6.200	6.645	75	72	100	120
13	7.339	8.012	687	335	46.070	39.870	225	20	580	35
14	7.492	7.895	290	275	49.170	25.000	210	200	725	698
15	7.316	7.498	325	300	27.460	39.870	190	180	695	700
16	7.493	6.974	325	200	37.650	26.580	160	165	690	460
17	7.501	7.258	225	125	53.160	11.075	250	90	590	330
18	7.592	7.412	200	85	66.450	5.316	225	50	750	150
19	7.211	7.924	275	70	19.049	5.759	615	120	1200	150
20	7.220	6.964	50	90	44.300	6.645	70	405	250	625
21	8.050	6.738	125	50	5.316	15.505	155	95	285	330
22	7.636	7.450	600	200	15.062	53.160	220	150	720	335
23	7.583	7.240	475	450	15.948	50.945	300	400	740	1200
24	6.131	7.340	725	50	57.590	39.870	450	65	1210	270
25	7.536	7.131	610	825	44.300	7.531	250	470	650	1260
26	6.489	7.503	130	125	20.821	20.821	65	62	370	368
27	8.001	7.956	725	50	15.505	7.088	230	10	600	263
28	6.740	8.001	370	825	51.831	15.060	235	225	520	700
29	6.800	4.500	265	375	51.831	53.160	295	230	540	510
30	6.450	5.230	500	255	16.391	50.945	255	255	840	520
31	7.049	6.500	90	600	66.710	15.062	13	265	180	720
32	7.053	6.780	350	475	55.370	15.948	95	300	810	740
33		6.548		375		39.870		255		640
34		5.698		65		7.974		25		265
35		7.001		500		48.730		270		680
36		6.874		90		22.150		60		380
37		8.250		75		6.202		85		110
38		7.521		330		8.510		120		450
PROM	7.387	7.144	324.000	226.184	34.103	28.396	206.500	134.314	628.906	438.912
E. E.	86.39	81.79	0.38	0.40	41.12	41.20	0.39	0.42	0.39	0.42
MAX	8.05	8.25	725.00	825.00	66.71	125.00	615.00	470.00	1210.00	1260.00
MIN	6.13	4.50	50.00	10.00	3.54	5.32	13.00	4.00	100.00	35.00

Anexo 3.

Cuadro 15. Parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas en aguas de pozos en el sector Taparachi III - Juliaca.

N°	COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES		BACTERIAS HETEROTROFICAS	
	ARTESANALES	TUBULARES	ARTESANALES	TUBULARES	ARTESANALES	TUBULARES
1	1260	200	260	40	700	120
2	160	100	60	0	80	50
3	900	1460	40	200	100	1500
4	40	480	20	0	60	450
5	2000	160	1240	20	1500	230
6	500	10	20	2	400	8
7	120	110	60	25	85	46
8	60	1200	20	100	45	1520
9	100	500	20	5	250	400
10	800	500	700	105	900	700
11	1700	1600	100	55	1520	600
12	6	8	2	1	160	60
13	140	102	112	25	154	200
14	44	300	4	102	23	250
15	260	500	230	45	310	380
16	10	38	2	8	25	45
17	156	200	110	50	320	150
18	1445	100	21	32	1230	200
19	56	18	40	12	58	40
20	300	12	25	6	360	20
21	500	26	32	4	580	26
22	100	56	65	12	21	58
23	30	102	0	50	25	120
24	30	205	2	15	150	350
25	53	35	14	0	240	12
26	45	78	12	68	47	12
27	72	42	25	0	120	15
28	24	45	4	12	20	46
29	56	12	23	1	15	48
30	58	52	12	12	15	59
31	126	25	56	5	58	80
32	950	68	100	20	140	120
33		45		1		46
34		14		3		52
35		15		0		123
36		154		13		120
37		9		5		8
38		15		2		12
PROM.	378.156	226.211	107.219	27.789	303.469	217.789
E. E.	86.39	81.79	0.38	0.40	41.12	41.20
MAX.	2000.00	1600.00	1240.00	200.00	1520.00	1520.00
MIN.	6.00	8.00	0.00	0.00	15.00	8.00

Anexo 4. Mapa de ubicación del sector Taparachi III – Juliaca



Anexo 5. Decreto supremo 031 – 2010 S.A

MINISTERIO DE SALUD

No. 031-2010



Decreto Supremo

APRUEBAN REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2º concordante con el artículo 7º de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, teniendo derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa;

Que, el artículo 107º de la Ley N° 26842, Ley General de Salud, establece que el abastecimiento del agua para consumo humano queda sujeto a las disposiciones que dicte la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento;

Que, la Décima Primera Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento, dispone que el Ministerio de Salud, continuará teniendo competencia en los aspectos de saneamiento ambiental, debiendo formular las políticas y dictar las normas de calidad sanitaria del agua y de protección del ambiente;

Que, mediante Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946, se aprobó el "Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables", el cual se encuentra desactualizado y obsoleto en el contexto actual;

Que, resulta necesario establecer un nuevo marco normativo para la gestión de la calidad del agua para consumo humano, sustentado en un enfoque de análisis de riesgo, que proporcione a la Autoridad de Salud instrumentos de gestión modernos y eficaces para conducir la política y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano;



Olivera A



D. S. C.

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 26842 – Ley General de Salud, y la Ley N° 29158 – Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°- Aprobación

Apruébese el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que consta de diez (10) títulos, ochenta y un (81) artículos, doce (12) disposiciones complementarias, transitorias y finales, y cinco (05) anexos, cuyos textos forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

El presente Decreto Supremo con el texto del Reglamento y sus anexos deberán ser publicados en el Portal Institucional del Ministerio de Salud (<http://www.minsa.gob.pe>) el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Artículo 2°- Derogación

A la entrada en vigencia del presente dispositivo legal, quedará derogada la Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946 que aprobó el "Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables", así como toda aquella disposición que se le oponga.

Artículo 3°- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Salud y de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinticuatro días del mes de septiembre del año dos mil diez.



ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República



OSCAR UGARTE UBILLUZ
Ministro de Salud



JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE
CALIDAD ORGANOLEPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	--	Aceptable
2. Sabor	--	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoniaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad