



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"INFLUENCIA DE LAS LETRINAS EN LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA  
URBANIZACIÓN SAN ISIDRO CCACCACHI JULIACA- 2019"**

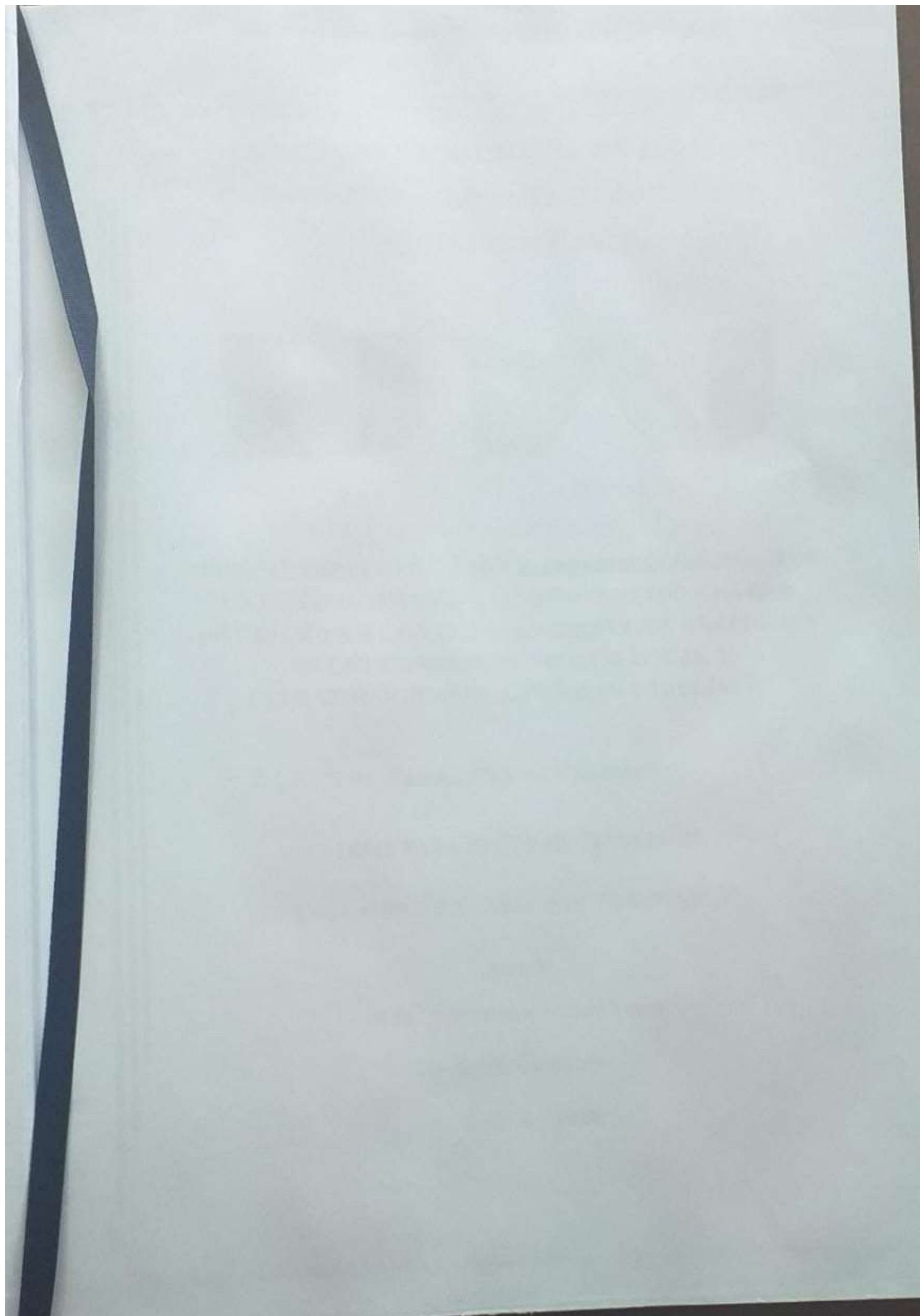
**Bach. Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro**



**JULIACA - 2020**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“INFLUENCIA DE LAS LETRINAS EN LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA  
URBANIZACIÓN SAN ISIDRO CCACCACHI JULIACA- 2019”**

**Bach. Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro**



**JULIACA - 2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“INFLUENCIA DE LAS LETRINAS EN LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA  
URBANIZACIÓN SAN ISIDRO CCACCACHI JULIACA- 2019”**

Bach. Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:** Dr. Wile Mamani Navarro

**JULIACA – 2020**



Inofuente, W. R. (2021). *Influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi Juliaca- 2019*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca.

**AUTOR:** Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita

**TÍTULO:** Influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi Juliaca- 2019.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2021

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (83 pp)

**NOTA:** Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal — Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 03-00008-02/IN58

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Dr. Wile Mamani Navarro

**PALABRAS CLAVE:**

Agua subterránea, calidad de agua, parámetros microbiológicos, letrinas.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**


INFLUENCIA DE LAS LETRINAS EN LA CALIDAD  
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA  
URBANIZACIÓN SAN ISIDRO CCACCACHI JULIACA- 2019


**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**

**Presentado por:**


Bach. Wilmer Ramiro Inofuente Ccarita

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

PRESIDENTE DE JURADO :   
Dr. Gustavo Miguel Pacheco Pacheco

JURADO (Secretario) :   
M.Sc. Edgar Pelinco Ruelas

JURADO (Vocal) :   
M.Sc. Edwerson William Pacori Paricahua

ASESOR DE TESIS :   
Dr. Wile Mamani Navarro

## DEDICATORIA

*En memoria de mi padre Alfredo Inofuente; por enseñarme que la vida se enfrenta con humildad, esfuerzo y perseverancia.*

*Con eterna gratitud a mi madre Delia Lucia; a mi abuela María por haberme forjado con ejemplo de amor, sencillez y trabajo.*

*A mis hermanos menores; por permitirme guiarles el camino y por ser el motivo de mis logros; a Rosanel por brindarme su cariño y apoyo en mis decisiones.*

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradezco infinitamente a nuestro Dios padre celestial por iluminar nuestra existencia.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca, alma mater de la educación moderna y a los docentes de la E.P. Ingeniería Ambiental y Forestal, quienes con su brillante experiencia contribuyeron en mi formación profesional.*

*A los habitantes de la Urbanización San Isidro Cccaccachi de la ciudad de Juliaca, por facilitar los pozos en el muestreo de aguas subterráneas y permitir con el desarrollo del trabajo de investigación.*

*A los jurados de la investigación, por sus aportes y sugerencias en el desarrollo de esta investigación.*



# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Pregunta de investigación .....	5
1.1.1. Pregunta general .....	5
1.1.2. Preguntas específicas.....	5
1.2. Justificación de la investigación.....	6
1.3. Objetivos de la investigación .....	8
1.3.1. Objetivo general .....	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4. Formulación de hipótesis .....	9
1.4.1. Hipótesis general .....	9
1.4.2. Hipótesis específicas .....	9
CAPÍTULO II .....	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1. Antecedentes del problema .....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	13
2.1.3. Antecedentes locales .....	14
2.2. Marco teórico .....	16
2.2.1. Letrinas.....	16
2.2.2. Pozo séptico.....	16
2.2.3. Calidad microbiológica del agua.....	16
2.2.4. Agua subterránea.....	17
2.2.5. Modelos matemáticos en hidrogeología.....	18
2.2.6. Contaminación ambiental.....	20
2.2.7. Contaminación del agua subterránea.....	21
2.2.10. Características microbiológicas del agua .....	22
CAPÍTULO III.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS .....	24

3.1. Ámbito de estudio .....	24
3.2. Tipo y diseño de investigación.....	26
3.3. Unidad de análisis .....	27
3.4. Población de estudio .....	27
3.5. Tamaño de muestra .....	28
3.6. Materiales y equipos .....	28
3.7. Muestreo de agua de pozos .....	28
3.8. Metodología de recolección de información.....	29
3.8.1. Medición de distancias contiguas a las letrinas humanas.....	29
3.8.2. Medición del nivel piezométrico.....	30
3.8.3. Medición de permeabilidad del suelo.....	31
3.9. Cuantificación de carga microbiológica de coliformes.....	33
3.9.1. Método filtración por membrana.....	33
3.10. Análisis de resultado de los parámetros microbiológico.....	33
CAPITULO IV.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
4.1. Análisis descriptivo.....	35
4.2. Análisis inferencial.....	43
4.2.1. Análisis estadístico y prueba de hipótesis .....	45
CONCLUSIONES .....	55
RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Puntos de muestreo .....	26
Tabla 2 Criterios de toma de muestras de agua según los parámetros.....	29
Tabla 3 Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos de agua de consumo humano .....	34
Tabla 4 Resumen estadístico de las características externas de los pozos de agua y las letrinas .....	35
Tabla 5 Resumen estadístico del análisis de los parámetros microbiológicos....	37
Tabla 6 Comparación de LMP de parámetros microbiológicos .....	41
Tabla 7 Resumen de estadístico de los parámetros fisicoquímicos .....	41
Tabla 8 Pruebas de normalidad.....	43
Tabla 9 Análisis de correlación entre las variables.....	44
Tabla 10 Resumen de los coeficientes de modelo de ecuación predictora .....	45
Tabla 11 Resumen del modelo de la ecuación del objetivo general .....	46
Tabla 12 Análisis de coeficiente de regresión del primer objetivo específico....	47
Tabla 13 Resumen del modelo de la ecuación del primer objetivo específico ...	49
Tabla 14 Análisis de coeficiente de regresión del segundo objetivo específico .	50
Tabla 15 Resumen del modelo de la ecuación del segundo objetivo específico	51
Tabla 16 Análisis de coeficiente de regresión del tercer objetivo específico .....	53
Tabla 17 Resumen del modelo de la ecuación del tercer objetivo específico.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores del coeficiente de permeabilidad.....	20
Figura 2. Ámbito de estudio – Urbanización San Isidro Ccacachi .....	25
Figura 3. Puntos de muestreo .....	25
Figura 4. Diseño causal explicativo .....	27
Figura 5. Detalle esquemático de la medición del nivel piezométrico .....	30
Figura 6. Diagrama de flujo de medición de nivel piezométrico.....	31
Figura 7. Diagrama de flujo de determinación de permeabilidad.....	32
Figura 8. Mapa de hidroisohipsas del área de influencia según el nivel piezométrico.....	36
Figura 9. Mapa del área de influencia de los parámetros coliformes totales .....	38
Figura 10. Mapa del área de influencia de los parámetros coliformes fecales ...	38
Figura 11. Valores de los parámetros microbiológicos – coliformes totales .....	39
Figura 12. Valores de los parámetros microbiológicos – coliformes fecales .....	40
Figura 13. Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y distancias contiguas a los pozos de agua .....	48
Figura 14. Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y nivel piezometrico .....	51
Figura 15 Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y tasa de infiltración .....	53

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Reglamento DIGESA - LMP de parámetros microbiológicos.....	64
Anexo 2 Resultados del análisis de las distancias contiguas entre la letrina y los pozos de agua.....	65
Anexo 3 Resultados del análisis del nivel piezométrico.....	65
Anexo 4 Resultados del análisis de la tasa de infiltración .....	66
Anexo 5 Resultados del análisis de parámetros microbiológicos .....	66
Anexo 6 Análisis de parámetros fisicoquímico .....	67
Anexo 7 Plano de ubicación del ámbito de estudio .....	68
Anexo 8 Plano de calidad microbiológica del agua subterránea – Coliformes Totales.....	68
Anexo 9 Plano de calidad microbiológica del agua subterránea – Coliformes Fecales.....	68
Anexo 10 Plano de hidroisohipsas – nivel piezometrico .....	68
Anexo 11 Imagen. del ámbito de estudio.....	68
Anexo 12 Imagen de las evidencias de letrinas en la Urb. San Isidro Ccaccachi .....	68
Anexo 13 Imagen de esterilización de frascos y demás equipos para el muestreo .....	68
Anexo 14 Imagen frascos esterilizados para luego realizar trabajo de campo ...	68
Anexo 15 Imagen de caracterización de los factores externos a las letrinas – pozo de agua .....	68

Anexo 16 Imagen de registro y muestreo de la calidad de agua subterránea .....	68
Anexo 17 Imagen de trabajo de campo – estudio de suelos .....	68
Anexo 18 Imagen de análisis de suelo a través de la tasa de infiltración de agua .....	68
Anexo 19 Imagen de preparación de placas Petri debidamente rotuladas .....	68
Anexo 20 Imagen de preparación de medios de cultivo para los coliformes .....	68
Anexo 21 Imagen colocando el filtro de membrana al sistema de filtración.....	68
Anexo 22 Imagen de filtración con el equipo de generador del vacío.....	68
Anexo 23 Imagen de incubación y baño de maría para determinar los coliformes .....	68
Anexo 24 Imagen de recuento de bacterias con el contómetro.....	68
Anexo 25 Resultados de laboratorio EPS SEDA JULIACA (a).....	68
Anexo 26 Resultados de laboratorio EPS SEDA JULIACA (b) .....	68
Anexo 27 Constancia de trabajo en campo .....	68
Anexo 28 Resultados de laboratorio HIDRALT (b).....	68



## RESUMEN

La investigación se realizó en la urbanización San Isidro de Ccaccachi, de la ciudad de Juliaca. El objetivo fue determinar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea. Se planteó una metodología con enfoque cuantitativo de diseño causal o explicativo. Las muestras se realizaron en 15 pozos de agua, ubicados en zonas representativas del área de estudio, los análisis microbiológicos fueron realizados en los laboratorios de la EPS. Sedajuliaca S.A. e Hidralt S.R.L. En el aspecto microbiológico se realizó la cuantificación de carga microbiológica de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* (UFC/100mL) por el método de filtración por membrana; de acuerdo a los resultados, el valor ( $r= 0.783$ ) indica una correlación positiva media, este resultado confirma que las variables predicen que el 61.3% revelan la existencia de influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea; éstos pozos de agua se encuentran entre 8.20 m - 14 m de distancia de las letrinas más cercanas, esto demuestra que la presencia de una letrina representa una amenaza de mayor contaminación microbiológica en el agua, el nivel piezométrico fluctúa entre 3818.25 m.s.n.m. y 3832.5 m.s.n.m. con un flujo de drenaje que se expande a la zona noroeste, por otro lado, la tasa de infiltración es de  $2.6 \times 10^{-3}$  cm/s, y según la clasificación del suelo; representan mezclas de arena, limo y arcilla. Finalmente se concluye que las aguas subterráneas en el área de estudio no son aptas para el consumo humano, se recomienda establecer seguimientos y monitoreos de los recursos hídricos a nivel de aguas subterráneas.

**Palabras clave:** agua subterránea, calidad de agua, parámetros microbiológicos, letrinas.

## ABSTRACT

The research was carried out in the San Isidro de Ccaccachi urbanization, in the city of Juliaca. The objective was to determine the influence of latrines on the microbiological quality of the groundwater. A methodology with a quantitative approach of causal or explanatory design was proposed. The samples were made in 15 water wells, located in representative areas of the study area, the microbiological analyzes were carried out in the EPS laboratories. Sedajuliaca S.A. and Hidralt S.R.L. In the microbiological aspect, the microbiological load of total and fecal coliforms and *Escherichia coli* (CFU / 100mL) was quantified by the membrane filtration method; According to the results, the value ( $r = 0.783$ ) indicates a medium positive correlation, this result confirms that the variables predict that 61.3% reveal the existence of significant influence of latrines on the microbiological quality of groundwater; These water wells are located between 8.20 m - 14 m away from the nearest latrines, this shows that the presence of a latrine represents a threat of greater microbiological contamination in the water, the piezometric level fluctuates between 3829.10 m.a.s.l. and 3826 m.s.n.m. with a drainage flow that expands to the northwest zone, on the other hand, the infiltration rate is  $2.6 \times 10^{-3}$  cm / s, and according to the soil classification; represent mixtures of sand, silt and clay. Finally, it is concluded that the groundwater in the study area is not suitable for human consumption, it is recommended to establish follow-ups and monitoring of the water resources at the groundwater level.

**Keywords:** groundwater, water quality, microbiological parameters, latrines.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú y en el mundo el agua es un recurso natural e indispensable para todos los seres vivos en sus diferentes formas de existencia, el ser humano requiere agua potable, definida como “adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”(Ríos, Agudelo, & Gutiérrez, 2017), según las naciones unidas (2010) tener acceso a servicios de agua y saneamiento adecuado es crucial para la realización de todos los derechos humanos, así como para llevar una vida con dignidad humana (Alcaide & Santos, 2019). La agenda 2030, que fue uno de los resultados de la conferencia de río 20 de 2012, y la adopción de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) por todos los estados miembros de las Naciones Unidas en 2015 (Martínez, 2017), un objetivo dedicado al agua y saneamiento (SDG 6) hay una necesidad urgente de aumentar el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre (Objetivo 6.2); no solo por la dignidad humana, sino también para proteger la calidad de las fuentes de agua potable naturales que con frecuencia están contaminados por agentes patógenos fecales (Kayembe *et al.*, 2018).

El agua potable, es una importante fuente de suministro de agua en la ciudad de Juliaca, no obstante muchos sectores de la ciudad carecen de agua y saneamiento, al igual que muchas zonas de la periferia de la ciudad de Juliaca; así como las zonas rurales no disponen de saneamiento básico, no cuentan con redes, ni conexiones de agua potable y alcantarillado (Calsina & Guerra, 2017); y por lo tanto se basa en el saneamiento in situ para la eliminación de excretas y aguas residuales, es decir de letrinas, pozos sépticos entre otros de contaminación microbiana de las aguas subterráneas (Nayebare, Owor & Taylor, 2019); sin embargo el 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.

El amplio uso de las aguas subterráneas (más allá de la tasa de recarga) junto con el manejo inadecuado de los residuos sólidos y las aguas residuales de los centros urbanos, ha aumentado la vulnerabilidad del sistema de aguas subterráneas (Semkuyu & Pandey, 2016), alcanza ser contaminada con patógenos microbianos de

origen en el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente. Las inadecuadas instalaciones de saneamiento en las zonas urbano marginales y rurales, además de la presencia de letrinas/pozo séptico in situ, hace que las fuentes subterráneas sean vulnerables a la contaminación por patógenos microbianos (Lutterodt *et al.*, 2018); la contaminación fecal plantea una amenaza cada vez más importante a suministros de agua subterránea en muchas regiones de bajos ingresos del mundo (Alcaide & Santos, 2019), por ende, el seguimiento y la evaluación de la calidad microbiana del agua de los pozos y pozos excavados a mano es importante, ya que los hallazgos permitan desarrollar estrategias de gestión eficaces para mejorar la calidad del agua de estas fuentes, por lo tanto ha sido necesario estimar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi en la ciudad de Juliaca.

El informe se ha estructurado en cuatro capítulos; el primer capítulo trata sobre el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y la formulación de hipótesis; el segundo capítulo refiere a la revisión de literatura, antecedentes y marco teórico que sirve de fundamento científico; el tercer capítulo trata sobre la metodología de investigación, materiales y métodos; el cuarto capítulo presenta los resultados de la investigación, tablas y gráficos estadísticos analizados e interpretados.

Finalmente, se establece las conclusiones y recomendaciones de la investigación, dejamos a consideración del honorable jurado y lectores en general la presente investigación esperando al mismo tiempo que sirva de fuente y antecedente para la realizar futuras investigaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el mundo el agua es uno de los recursos naturales más importantes e indispensables para la supervivencia del ser humano, en la medida que se incrementa la población en el mundo será necesario el acceso a mayor cantidad de agua de calidad, sin embargo, la cantidad de agua que hay en el mundo no se incrementa, según la Autoridad Nacional de Agua (ANA) en el mundo el agua dulce disponible no alcanza ni el 0.5% de la totalidad del agua existente, América del Sur es la región del mundo que cuenta con la mayor cantidad de agua dulce, según información del Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), más de 1 100 millones de personas en el mundo carecen de agua potable y 31 países padecen escasez de ella y dos de cada cinco personas no cuentan con instalaciones adecuadas de saneamiento (ANA, 2019), algunos países en desarrollo tienen comunidades rurales muy pobres, no tienen acceso a suministros de agua y se basan principalmente en pozos, ríos, arroyos y estanques para sus necesidades diarias; en la mayoría de casos el agua de éstas fuentes se utiliza directamente, es decir de suministros de agua sin tratamiento que pueden estar contaminados con heces; Así también a nivel mundial, las enfermedades transmitidas por el agua son una causa importante de morbilidad y mortalidad en los seres humanos (OMS, 2006), los patógenos transmitidos por el agua infectan alrededor de 250 millones de personas por año, lo que resulta en 10 a 20 millones de muertes, muchas de estas infecciones ocurren en los países que tienen problemas de saneamiento, también las enfermedades patógenos están relacionados

con el uso de las aguas subterráneas contaminadas, que son la causa de muerte en los países en desarrollo (Dzwairo *et al.*, 2006)

El Perú es un país privilegiado ya que cuenta con 1.89 % de la disponibilidad de agua dulce del mundo (ANA, 2019), por otro lado según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), entre febrero del 2017 y enero del 2018 reportó que el 10.6% de la población total del país, no accede a agua por red pública, es decir, se abastecen de agua de otras formas: camión-cisterna (1.2%), pozo (2.0%), río, acequia, manantial (4.0%) y otros (3.3%) (INEI, 2018), esto implica que una parte de la población nacional no cuenta con los servicios básicos de agua potable lo que conlleva a suministros de agua que se basan principalmente en pozos, la mayoría de la gente utiliza las aguas subterráneas sin ningún tratamiento siendo esto un factor importante en la salud de las personas, además se registra que el 27.3% de la población del país no accede a sistema de red de alcantarillado, entre los cuales destaca aquellos que eliminan excretas a través de pozo ciego o negro (9.6%), pozo séptico (6.1%), letrina (1.8%), por río, acequia o canal (1.2%) y el 8.4% no tiene ningún tipo de servicio (INEI, 2018) estas cifras reflejan la carencia de los servicios de agua y desagüe de toda una población del país, quienes disponen sus desechos humanos en pozos sépticos, ciego y letrinas que generalmente están muy próximos a los pozos de agua de los que se abastecen para su consumo, lo cual es un riesgo biológico porque podrían causar enfermedades infecciosas, la región Puno no es ajena a esta realidad nacional, el (39.1%) de la población tienen acceso al servicio de agua por red pública por horas, es decir más de la mitad de la población se abastecen de agua de otras formas, recurriendo a las aguas subterráneas, en la ciudad de Juliaca más de 100 mil personas no tienen agua potable ni servicio de saneamiento, por lo menos 130 urbanizaciones carecen de servicios básicos (Diario correo, 2016), bajo este panorama, la ciudad de Juliaca no es ajena a estos problemas, puesto que la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Seda - Juliaca S.A., tiene dificultades para poder abastecer de agua potable a la ciudad de Juliaca, aún existen sectores de la ciudad que solo cuentan con dos y tres horas de servicio de abastecimiento de agua potable, peor aún otros no cuentan con el servicio de redes de alcantarillado (Calsina & Guerra, 2017), gran parte de las urbanizaciones que se encuentran en la periferia de la ciudad de Juliaca cuentan con letrinas instaladas



directamente a los suelos, además de que se abastecen de agua subterránea pozos instalados en los acuíferos, hay una preocupación creciente de la contaminación microbiológica a nivel del agua subterránea y de la salud de los habitantes de estas urbanizaciones, entonces es necesario la evaluación de la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi del distrito de San Miguel, provincia de San Román.

## **1.1. Pregunta de investigación**

### **1.1.1. Pregunta general**

¿En qué medida influye las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi durante el año 2019?

### **1.1.2. Preguntas específicas**

¿Cuál es la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a las distancias contiguas a los pozos de agua?

¿Cómo influye las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico?

¿Cómo influye las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo?

## **1.2. Justificación de la investigación**

El presente proyecto de investigación justifica por todo aquello que representa la protección, el cuidado de los recursos naturales y de los ecosistemas, es cierto que el crecimiento urbanístico y la densidad poblacional conlleva a la necesidad de acceder a los servicios básicos de saneamiento, sin embargo la realidad es otra, la población es obligada a abastecerse de agua de diferentes formas, recurriendo a las aguas subterráneas, además de instalar letrinas que en consecuencia viene provocando grandes problemas de contaminación, la alteración de la napa freática y del suelo, por lo tanto esto viene afectando la calidad del agua subterránea y la salud de los habitantes, frente a esto se requiere una investigación o monitoreo que pueda predecir un futuro escenario de la contaminación acuífera para tomar decisiones adecuadas para una gestión ambiental.

Por otro lado, la importancia de disponer el recurso hídrico para el consumo humano en una determinada población urbano o rural, contribuye a la calidad de vida de los habitantes; además de aportar en el desarrollo económico y social. No obstante, la realidad de muchas urbanizaciones en la ciudad de Juliaca es que, no cuentan con el servicio de suministro de agua potable, incluso la mayor parte de las zonas urbano marginales de la urbe, tienen problemas del abastecimiento de los servicios básicos, razón por la cual la investigación a partir de los resultados como línea base ambiental tiene como propósito impulsar en las autoridades locales, regional e instituciones con responsabilidad directa del servicio de saneamiento; conllevar a una propuesta técnica o alternativa para atenuar el impacto ambiental, y en el ámbito social, secundar con la población afectada para concientizar sobre los riesgos que trae la instalación de letrinas sin criterio técnico, además de poner en riesgo la salud de las personas por consumir agua sin previo tratamiento.

La ley N° 28611, ley General del Ambiente, en el artículo N°113, estipula sobre la calidad ambiental, donde toda persona natural o jurídica o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes, en tal razón recae el compromiso en ésta investigación como agente

responsable, en tanto en el artículo N° 124 menciona: que se debe fomentar la investigación ambiental científica y tecnológica, en la misma se sustenta que le corresponde al estado y a las universidades, públicas y privadas, en cumplimiento de sus respectivas funciones y roles, promover: la investigación y el desarrollo científico y tecnológico en materia ambiental.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se realiza con el afán de coadyuvar y proporcionar información como una herramienta para predecir a futuros acontecimientos ambientales causados por las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi de la ciudad de Juliaca, los cuales beneficiara aproximadamente 190 familias de la urbanización que ayudaran a identificar, justificar y orientar en la toma de decisiones por parte de los pobladores, autoridades locales y entidades correspondientes.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi durante el año 2019.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Evaluar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a las distancias contiguas a los pozos de agua.

Identificar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico.

Evaluar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo.

## **1.4. Formulación de hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

- Las letrinas influyen significativamente en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a las distancias contiguas a los pozos de agua.
- Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico.
- Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes del problema

Según la bibliografía revisada los antecedentes que tienen relación con el presente trabajo de investigación son:

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Ravenscroft *et al.* (2017), sostienen que la contaminación fecal de las aguas subterráneas de las letrinas de pozo se percibe como una amenaza importante para la seguridad del agua potable para varios miles de millones de personas en las zonas rurales y periurbanas de todo el mundo. En las llanuras aluviales del delta del Ganges-Brahmaputra-Meghna en Bangladesh, detectaron coliformes fecales (FC) en 3.3 – 23.3% de las muestras en cuatro sitios. Las concentraciones de FC en el campo lejano en cuatro sitios superaron 0 y 10 UFC / 100 mL en 2.4 a 9.6% y 0.2 a 2.3% de los eventos de muestreo, respectivamente.

Dey *et al.* (2017), investigaron las diferencias estacionales y regionales de la contaminación microbiana y de acuerdo con las directrices de inspección sanitaria de la OMS, alrededor del 62% de los pozos muestreados tenían un riesgo medio o alto, mientras que la situación era peor en la región suroeste, el número de pozos contaminados y el nivel de contaminación fueron mayores durante la estación húmeda. El análisis de regresión multivariante pudo identificar algunos indicadores



de inspección sanitaria, dentro de los 10 m del pozo e instalaciones sanitarias no mejoradas estaban significativamente asociadas con presencia de contaminantes microbianos en el agua del pozo ( $p < 0.01$ ). Durante la estación húmeda los pozos con alto nivel de riesgo se asociaron con una mayor probabilidad de tener FC y TC, la construcción de letrinas de pozo en áreas con alto nivel freático debería ser altamente desaconsejada.

Dzwaïro *et al.* (2006), analizaron muestras de agua subterránea de 14 pozos de monitoreo desde febrero de 2005 hasta mayo de 2005. Los parámetros analizados fueron los coliformes totales y fecales, donde oscilaron entre 0 y TNTC (demasiado numerosos para contarlos). la caída en el nivel freático promedió fue de 1.1 m a 1.9 m y estos valores se obtuvieron restando las elevaciones del nivel freático de la elevación absoluta de la superficie del suelo, el suelo de los pozos de monitoreo fue clasificado como arenoso, la capa de infiltración del suelo se tomó como la capa entre el fondo de la letrina de pozo y el nivel freático; los resultados también indicaron que las letrinas de pozo tenían un impacto microbiológico en la calidad del agua subterránea hasta 25 m de distancia lateral.

Knappett *et al.* (2011), desarrollaron un estudio para determinar las fuentes predominantes (humanas o de ganado) de la contaminación fecal en los estanques y examinar la asociación entre la población local, la densidad de letrinas, la calidad de las letrinas y las concentraciones de bacterias y patógenos fecales en el agua del estanque. Los humanos fueron la fuente dominante de contaminación fecal en el 79% de los estanques según las mediciones de Bacteroidales. Los estanques que recibían directamente el efluente de la letrina tenían las concentraciones más altas de bacterias fecales indicadoras (hasta  $10^6$  Número más probable (NMP) de *E. coli* cultivable por 100 mL. Las concentraciones de bacterias indicadoras fecales se correlacionaron con la población estudiada a una distancia de 30 – 70 m ( $p < 0.05$ ) y el total de letrinas encuestadas dentro de 50 – 70 m ( $p < 0.05$ ). Las letrinas no sanitarias (efluente visible o pozos abiertos) dentro de la cuenca de drenaje del estanque también se correlacionaron significativamente con las concentraciones de los indicadores fecales ( $p < 0.05$ ). El agua en la gran mayoría de los estanques estudiados contenía niveles inseguros de contaminación fecal atribuibles principalmente a las letrinas no

sanitarias y, en menor medida, a las letrinas sanitarias y al ganado. Dado que la mayor parte de la contaminación fecal se deriva de los desechos humanos, el uso continuo del agua del estanque podría ayudar a explicar la persistencia de las enfermedades diarreicas en las zonas rurales del sur de Asia.

Ramírez *et al.* (2009), evaluaron la calidad microbiológica (coliformes totales, coliformes fecales) del acuífero de Zacatepec, Morelos, para ello se realizaron muestreos mensuales durante un año en trece pozos del acuífero; todos los pozos presentaron contaminación por coliformes totales, uno de ellos con una media geométrica de 107 UFC/100 mL, en cambio, los coliformes fecales estuvieron ausentes en cuatro de los pozos, pero en uno se presentó contaminación alta con una media geométrica de 107 UFC/100 mL, el pozo más contaminado con bacterias fue el número 3 y la contaminación de coliformes totales y fecales más alta se presentó en los meses de abril y julio; la presencia de las bacterias coliformes indica que existe una contaminación de origen antrópico en el acuífero, resalta la importancia de desinfectar el agua antes de su consumo como agua potable.

Valenzuela *et al.* (2009), determinaron la calidad microbiológica del agua subterránea en una cuenca rural Chile, donde se analizaron 42 pozos en un periodo de un año, para el estudio del probable origen de los indicadores, se usó la proporción de coliformes fecales a estreptococos fecales, en todas las muestras analizadas se detectó coliformes totales, fecales y Estreptococos fecales, demostrando así la contaminación de las aguas de los pozos por materia fecal humana y animal, las colimetrías en todas las muestras de agua no cumplieron con los estándares mínimos para agua potable según lo establecido por la norma chilena (0 UFC/100 mL). En algunos pozos, el recuento de placas tampoco cumplió con el estándar chileno de 1000 UFC/100 mL para fines de riego. Según este criterio, no se puede utilizar un bajo porcentaje de pozos para el riego (7.3% de los pozos en marzo, 4.9 % en junio, 0% en septiembre y 2.6% en diciembre). El indicador más frecuente fue el de coliformes totales.

Silva & Araujo, (2003), reportaron las cualidades bacteriológicas y físico-químicas de las aguas subterráneas para consumo humano en dos áreas urbanas de la

ciudad de Feira de Santana, estado de Bahía, Brasil, se tomó una muestra estratificada, proporcional al área y número de viviendas, los resultados de 120 análisis de muestras de agua se evaluaron de acuerdo con los estándares establecidos por la legislación federal para el agua potable en Brasil. Se observaron coliformes totales en el 90.8% de las muestras, coliformes fecales en el 65.8% y más de 500 UFC / mL de organismos heterótrofos en el 74.1% de las muestras; el alto porcentaje de muestras que no cumplieron con los estándares de agua potable representan un riesgo importante para la salud de las personas que usan aguas subterráneas en Feira de Santana.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Morales (2014), evaluaron la calidad microbiológica de aguas subterráneas (pozos), utilizadas para el consumo humano ubicadas en el Centro Poblado de Santa María de Huachipa - Distrito de Lurigancho, Lima. El estudio se realizó entre los meses de febrero y junio del 2014, se colectaron treinta y cuatro muestras de aguas subterráneas (pozos) para la determinación de Coliformes Totales, *Escherichia coli*, y *Enterococcus sp.*, y se encontró que el 74% de las muestras de agua superó el parámetro de bacterias heterotróficas (máximo 500 UFC/mL), el 100% de las muestras de agua no cumplió con el parámetro para coliformes totales (< 1.8 NMP/100mL o ausencia), y el 53% de las muestras de agua superó los límites establecidos para *Escherichia coli* (< 1.8 NMP/100mL o ausencia). En el caso de *Enterococcus sp.* (< 1.8 NMP/100mL o ausencia) el 85% de las muestras de agua superó el límite permisible; y el 53% de las muestras presentó *Pseudomonas aeruginosa* (< 1 UFC/100mL o ausencia). Concluyeron que ninguna muestra de agua cumplió con los requisitos microbiológicos para ser aceptable como aguas de consumo humano, constituyendo un riesgo potencial para la salud de los consumidores debido a los elevados niveles de contaminación microbiana.

Ventura (2016), realizó la investigación que tuvo como objetivo determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua subterránea en los sectores agrícolas de Santa Rosa, Omo y Rinconada de la ciudad de Moquegua. Se estudió 16 puntos de muestreo, a lo largo de los tres sectores, donde se determinó que las aguas

subterráneas presentaron contaminación por coliformes totales en un 87.5%, por coliformes termotolerantes en 81.25% y *Escherichia coli* en 62.5 %. El 87.5% de las muestras de agua tuvieron calidad microbiológica inaceptable.

Soriano (2018), evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea en el centro poblado de pata pata, región Cajamarca, de 3 puntos de muestreo seleccionados por conveniencia y donde determinaron si estas eran aceptables o no para el consumo humano, para ello se comparó los resultados fisicoquímicos y microbiológicos con los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de la calidad del agua aprobado en el D.S. N° 031-2010-SA y con los estándares de calidad ambiental categoría A1 aprobados por el D.S. N° 004-2017-MINAM. Las concentraciones promedio de los parámetros microbiológicos en el punto AS-01 fueron: 445 NMP/100 mL de coliformes totales y 187 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, para el punto AS - 02 fueron 566.667 NMP/100 mL de coliformes totales, 22.667 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, para el punto AS - 03 las concentraciones promedio fueron 565 NMP/100 mL de coliformes totales, 18.933 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Finalmente se concluyó que el agua de los tres puntos de muestreo no es aceptable para el consumo humano porque hubo presencia excesiva de coliformes tanto totales como termotolerantes, por lo que debe pasar por un proceso de tratamiento.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Calsín (2016) realizó la investigación en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román durante los meses de febrero – junio del 2016, donde se determinaron los parámetros físicos y parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas en aguas subterráneas. Se analizaron muestras de agua procedentes de 70 pozos (32 artesianos y 38 tubulares) utilizando métodos de la Norma Técnica Peruana (2012), Los resultados de los parámetros bacteriológicos de coliformes totales fueron  $378.16 \pm 96.03$  UFC/100 mL en pozos artesanales y en pozos tubulares  $226.21 \pm 62.60$  UFC/100 mL ANDEVA ( $P > 0.05$ ); los coliformes fecales fueron de  $107.22 \pm 43.16$  UFC/100 mL en pozos artesanales y en pozos tubulares  $27.79 \pm 6.67$  UFC/100 mL

ANDEVA ( $P \leq 0.05$ ) y las bacterias heterotróficas fueron de  $303.47 \pm 74.58$  UFC/100 mL en pozos artesanales y en pozos tubulares  $217.79 \pm 56.98$  UFC/100 mL ANDEVA ( $P > 0.05$ ). Se concluye que los parámetros que excedieron los LMP coliformes totales y fecales, por lo tanto el agua de pozos artesanales no son aptas para el consumo humano

Curo (2017) efectuó una investigación en cuatro parcialidades del distrito de Huata, provincia de Puno, durante los meses de diciembre 2016 – febrero 2017, en el que se cuantificaron la presencia de coliformes totales y termotolerantes mediante UFC y evaluar los principales parámetros fisicoquímicos, se analizaron muestras de agua procedentes de 12 pozos, considerando tres pozos por parcialidad, con dos repeticiones por pozo, utilizando métodos de la Norma Técnica Peruana (2001). El recuento de coliformes totales en promedio de un máximo de 360 UFC/100 mL en la parcialidad de Collana I a un mínimo de 82.3 UFC/100mL en la parcialidad de Collana II, presentan diferencia significativa ( $P = 0.0190$ ), para coliformes termotolerantes fueron de promedios de un máximo de 3.3 UFC/100ml en parcialidad de Collana II a un mínimo de 0.3 UFC/100mL en la parcialidad de Yasín, según ANOVA ( $P = 0.5365$ ), por consiguiente exceden los límites máximos permisibles según el reglamento de calidad de agua para consumo humano D.S. 031-2010 DIGESA, se concluyeron que la calidad de agua de pozos para consumo humano en cuatro parcialidades del distrito de Huata, exceden los parámetros microbiológicas, donde existe un déficit en la calidad de agua, asociada a parámetros fisicoquímicos.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Letrinas**

La letrina es una instalación sanitaria que, con mínimos conocimientos técnicos, puede instalarse en lugares adecuados para el confinamiento y tratamiento de las excretas humanas (Conagua, 2009), la letrina es el lugar destinado a la evacuación de las heces y los orines, y a la eliminación del material empleado en la limpieza anal, según la unidad de apoyo técnico al saneamiento básico rural cumplen especificaciones técnicas (OPS/CEPIS, 2003), actualmente las mejoras tecnológicas han acompañado a un cambio gradual de cielo abierto a letrinas sanitarias más consistentes en anillos de cimentación de hormigón para evitar la fuga de heces humanas en el campo abierto (Knappett *et al.*, 2011).

### **2.2.2. Pozo séptico**

El tanque o pozo séptico es un depósito de uno o más compartimentos, impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, además de la excreta y agua residual provenientes de los inodoros, aguas grises de origen doméstico. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, concreto u otro material resistente a la corrosión (Conagua, 2009).

### **2.2.3. Calidad microbiológica del agua**

La calidad microbiológica del agua se define en relación a las características variables microbiológicas o bacteriológicas, en la mayoría de los casos, conlleva el análisis de microorganismos indicadores de contaminación fecal (OMS, 2006). Según el reglamento de calidad de agua DIGESA (2011) los parámetros de control obligatorio para la calidad de agua incluyen los coliformes totales y termotolerantes, como parámetros microbiológicos, además indica que en caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal.

La verificación de la calidad microbiológica del agua de consumo incluye el análisis de la presencia de *Escherichia coli*, un indicador de contaminación fecal. No debe haber presencia en el agua de consumo de *E. coli*, ya que constituye una prueba

concluyente de contaminación fecal reciente. En la práctica, el análisis de la presencia de bacterias coliformes termotolerantes puede ser una alternativa aceptable en muchos casos. *E. coli* es un indicador útil (OMS, 2006). la calidad del agua para consumo de la población está definida de acuerdo a los indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados en el agua de consumo humano y que estos cumplan con los límites máximos permisibles (DIGESA/Ministerio de Salud, 2011).

#### ***2.2.3.1. Normatividad de calidad de agua para consumo humano***

La Autoridad de Salud a nivel nacional para la gestión de la calidad del agua para consumo humano, ejerce a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA); donde el reglamento se enmarca dentro de la política nacional de salud y los principios establecidos en la Ley N° 26842 - Ley General de Salud, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, la gestión de la calidad del agua para consumo humano garantiza su inocuidad y se rige específicamente en lineamientos de política nacional de calidad del agua para consumo humano, además de elaborar las guías y protocolos para el monitoreo y análisis de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano (anexo 1) y (tabla 3) (DIGESA/Ministerio de Salud, 2011).

#### **2.2.4. Agua subterránea**

Según Villón Béjar (2002), las aguas subterráneas son las que ocupan todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. Estas aguas, son muy importantes, especialmente en los lugares seco, donde el escurrimiento se reduce mucho en algunas épocas del año (Herrera & Panta, 2018), es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Ordoñez, 2011).

#### **2.2.4.1. Pozo de agua**

Es un agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, sea una reserva de agua subterránea del nivel freático (Ordoñez, 2011).

*Los pozos artesanales* consisten en la excavación en terreno seco, donde se realiza un agujero cilíndrico en la superficie del suelo y hasta el nivel del agua subterránea, la construcción del encubado (revestimiento para la consolidación de las paredes del pozo) se utiliza anillos de concreto, y la instalación de un colector que se sitúa por debajo del nivel de la capa freática para permitir que el agua llegue hasta el pozo.

*Los pozos tubulares* son construidos con equipos mecanizados. En general, su diámetro interno oscila entre 4 pulg. coronados por un brocal.

#### **2.2.5. Modelos matemáticos en hidrogeología**

La utilización de los modelos numéricos puede enfocarse en función de los distintos fenómenos a estudiar. Así tenemos los modelos de flujo, donde únicamente se consideran la conservación de masas y se obtiene la distribución de potencial en el acuífero, es la base para el resto de modelos (Cruces & Martínez, 2007).

##### *a) Modelo de flujo*

Este modelo de flujo permite fundamentar cálculos de caudales, velocidades de filtración, isopiezas, variación en el almacenamiento y demás magnitudes relacionadas con el movimiento del agua en el acuífero. Los modelos de flujo permiten un estudio global del comportamiento de los acuíferos y de sus relaciones entre sí; el análisis cualitativo y cuantitativo de redes de flujo y analizar relaciones entre el acuífero y corrientes superficiales de agua (Cruces & Martínez, 2007).

##### **2.2.5.1. Nivel Piezométrico**

Es el nivel de equilibrio donde la presión hidrostática en el agua iguala a la presión atmosférica, distancia entre el perfil del suelo y el nivel más superficial a que llegan las aguas subterráneas solo por acción de la gravedad, es el límite superior de la zona



de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos (Herrera & Panta, 2018). Un nivel piezométrico corresponde siempre a la presión existente sobre el punto del acuífero en el cual está ranurado el pozo o sondeo. Por tanto, cada punto de un acuífero confinado tiene un nivel piezométrico propio y diferente. El nivel piezométrico sólo se manifiesta allí donde existe una perforación. En la parte superior de los acuíferos libres el nivel piezométrico es el nivel freático (Constantin *et al.*, 2017).

### **2.2.5.2. Permeabilidad**

La permeabilidad de un material es la capacidad que este tiene de transmitir un fluido, en este caso agua (Alam *et al.*, 2015). Un material será más permeable cuando sea poroso y estos poros sean de gran tamaño y estén conectados (Elhakim, 2016), esta libertad de movimiento depende de: Tamaño y forma de las partículas, gradación del material y viscosidad del agua. El coeficiente de permeabilidad de un material, se define como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria (1 m<sup>2</sup>), (Ordoñez, 2011).

Fórmula para el cálculo de coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V * L}{H * A * t}$$

Dónde:

V= volumen promedio drenado

L=longitud de tubo empleado en el ensayo

H=perdida promedio de carga hidráulica

A=área de la sección transversal del tubo.

### 2.2.5.3. Valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos

La figura 1, expresa valores del coeficiente de permeabilidad y formas de determinarlo, relacionándolo con las condiciones de drenaje y el tipo de suelo (Elhakim, 2016).

	100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición.			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.						Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.					
Determinación indirecta de k	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.			Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.		
	Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia											

Figura 1. Valores del coeficiente de permeabilidad

### 2.2.6. Contaminación ambiental

Bujan, (1997) & Van de Moortele, (1997) mencionan que la contaminación es la impregnación del aire, el agua ó el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas (Quiroz, 2006).

Según Enkerlin *et al.* (1997) denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público (Vilma & Milagros, 2014).

### **2.2.7. Contaminación del agua subterránea**

La contaminación de las aguas subterráneas, que se suele distinguir de los coliformes totales / fecales aumentados, las especies de nitrógeno (nitrato, amonio), el cloro y, en ocasiones, las detecciones de virus cuando se analizan, parecen permanecer bastante cerca de las piscinas de letrinas (Ferrante *et al.*, 2018), las distancias parecen estar normalmente restringidas de 5 a 50 m aproximadamente, aunque se reconoce que los estudios de caso pueden carecer de resolución espacial para permitir una evaluación confiable de las distancias y el discernimiento de los procesos de atenuación que pueden limitar la migración de contaminantes (Back *et al.*, 2018).

Una amenaza de la calidad química y microbiológica de los suministros de agua subterránea en los países en desarrollo es el riesgo que supone el aumento de forma espectacular uso de letrinas de pozo de saneamiento mejorado Back *et al.* (2018), la calidad del agua subterránea en una escala nacional no se ha investigado todavía está intrínsecamente ligada a las propiedades químicas de la geología del acuífero a través del cual los flujos. Por lo tanto, existe una gran variabilidad espacial en la calidad de las aguas subterráneas de un acuífero a otro (Moyo, 2013).

## **2.2.10. Características microbiológicas del agua**

### **2.2.10.1. *Coliformes totales***

Pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua, el grupo coliforme está formado por todas las bacterias Gram. Negativas aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C y desarrollándose en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos (Digesa, 2017).

#### *a) Método técnica de filtración por membrana para coliformes totales*

El grupo de bacterias coliformes para la técnica de filtración por membrana se define como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban en medio Endo con lactosa por 24 horas a 35 °C ± 0.5 °C, desarrollan colonias color rojo con brillo verde metálico (Dinama, 1996).

### **2.2.10.2. *Coliformes fecales***

Los termotolerantes diferentes de *Escherichia coli* pueden proceder a aguas orgánicamente enriquecidas como efluentes industriales, de materias vegetales y suelos en descomposición (Digesa, 2017), comprende a los géneros de *Escherichia* y en menor grado *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Este grupo de organismos puede fermentar la lactosa entre 44 – 45 °C.

### **2.2.10.3. *Escherichia coli***

Las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C se conocen como coliformes termotolerantes. En la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia*, pero algunos tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son termotolerantes.

*E. coli* está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal, aunque hay indicios de que puede crecer en suelos tropicales.

Se considera que *Escherichia coli* es el índice de contaminación fecal más adecuado. En la mayoría de las circunstancias, las poblaciones de coliformes termotolerantes se componen predominantemente de *E. coli*; por lo tanto, este grupo se considera un índice de contaminación fecal aceptable

*b) Método técnica de filtración por membrana para coliformes fecales*

El grupo de bacterias coliformes fecales para la técnica de filtración por membrana se define como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban en medio M-FC con lactosa por 24 horas a  $44.5 \pm 0.2$  °C desarrollan colonias color azul (Dinama, 1996).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito de estudio**

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Juliaca, en la urbanización San Isidro de Ccaccachi, geográficamente está ubicada en la provincia de San Román, que pertenece a la región Puno, se encuentra en los 378851.90 m E y 8285949.45 m S Zona 19 de las coordenadas WGS84. Pertenece a la región Suni, zona central: 3825 m.s.n.m.

La urbanización San Isidro de Ccaccachi está ubicado en el noreste de la ciudad de Juliaca, geográficamente se encuentra a 3834 m.s.n.m., el área del ámbito de estudio es de 21.9 hectáreas, con un perímetro de 2.29 km, de las cuales toda la población no cuenta con los servicios básicos de saneamiento.

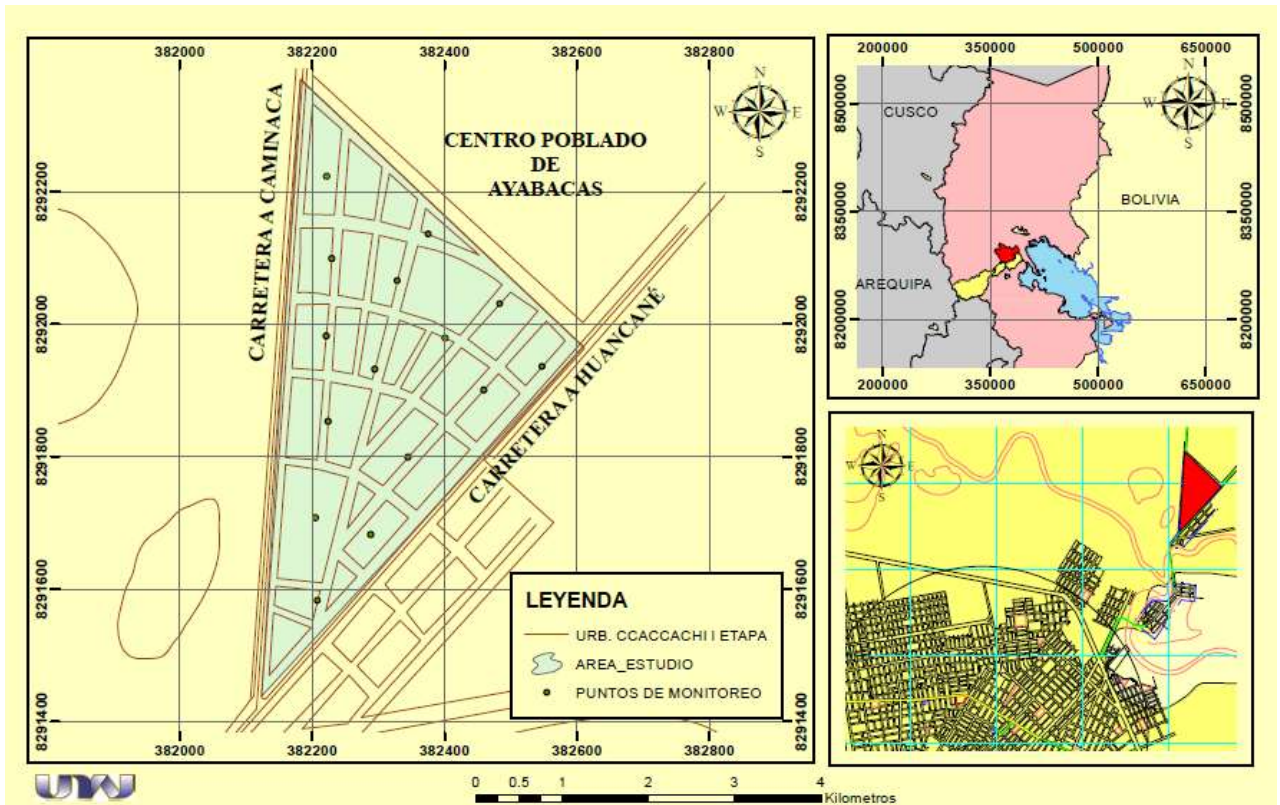


Figura 2. Ámbito de estudio – Urbanización San Isidro Ccacachi



Figura 3. Puntos de muestreo

Fuente: Google earth

Tabla 1

*Puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		altura (msnm)
	Este	Norte	
<b>P1</b>	382050.00 m E	8291765.00 m S	3835
<b>P2</b>	382202.00 m E	8291684.00 m S	3832
<b>P3</b>	382302.00 m E	8291584.00 m S	3833
<b>P4</b>	382347.00 m E	8291502.00 m S	3833
<b>P5</b>	382042.00 m E	8291651.00 m S	3833
<b>P6</b>	382143.00 m E	8291618.00 m S	3832
<b>P7</b>	382197.00 m E	8291526.00 m S	3833
<b>P8</b>	382266.00 m E	8291448.00 m S	3834
<b>P9</b>	382045.00 m E	8291538.00 m S	3833
<b>P10</b>	382128.00 m E	8291450.00 m S	3833
<b>P11</b>	382024.00 m E	8291389.00 m S	3833
<b>P12</b>	382157.00 m E	8291343.00 m S	3834
<b>P13</b>	382012.00 m E	8291266.00 m S	3834
<b>P14</b>	382109.00 m E	8291227.00 m S	3836
<b>P15</b>	382012.00 m E	8291141.00 m S	3835

**3.2. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación es no experimental, el diseño corresponde a transeccionales causal explicativo, al respecto Sampieri, Collado, & Lucio (2014), indica que los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. El diseño permite una investigación sistemática empírica, en la cual no se tiene control directo sobre la variable independiente porque ya acontecieron, el investigador asume que la variable independiente ya ha actuado u ocurrido limitándose a señalar las posibles relaciones con (efecto) sobre la variable dependiente (Pacori, 2019). A veces, únicamente en términos correlacionales, otras en función de la relación causa- efecto (Sampieri *et al.*, 2014).



Para la investigación el diseño causal - explicativo se expresa en el siguiente esquema:

$$Y = f(X)$$

Donde:

Y: Representa a la variable dependiente.

X: Representa a la variable independiente.

f: Función.

*Figura 4. Diseño causal explicativo*

### **3.3. Unidad de análisis**

Para el presente trabajo de investigación la unidad de análisis se estableció de acuerdo a la distribución geofísica de los pozos artesanales con distancias contiguas a las letrinas, tomando como referencia viviendas habitadas, cuya jurisdicción corresponde a la urbanización de San Isidro Ccaccachi del distrito de San Miguel, Provincia San Román.

### **3.4. Población de estudio**

La urbanización de San Isidro Ccaccachi del distrito de San Miguel cuenta con pozos artesanales y tubulares. Se realizó el estudio seleccionando pozos artesanales de la urbanización de San Isidro Ccaccachi pertenecientes a la jurisdicción del distrito de San Miguel.

La población de estudio se consideró de acuerdo al protocolo de procedimientos para la toma de muestras RD N° 160-2015/DIGESA/SA, dónde los puntos de muestreo son puntos fijos, es decir se localizó puntos de muestreo considerando que deben ser lo más representativo para el estudio, se trata de sectores que se define de mayor riesgo de contaminación, entonces el muestreo se realizó de juicio y no probabilístico, donde las muestras de agua fueron tomadas de forma simple o puntual (Digesa, 2015).

### **3.5. Tamaño de muestra**

La investigación presenta muestra no probabilística, para Sampieri *et al.* (2014), la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación, según Hoko *et al.* (2006), en su investigación de impactos en la calidad del agua subterránea que fueron evaluados a lo largo de transectos o de letrinas individuales, utilizaron como muestra un total de 14 pozos de monitoreo que fueron perforados aguas arriba y aguas abajo de las letrinas de pozo, también Ventura (2016) en su investigación de la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua subterránea en los sectores agrícolas de Santa Rosa, Omo y Rinconada de la ciudad de Moquegua. realizó 16 puntos de muestreo, a lo largo de los tres sectores, entonces el muestreo para la investigación se realizó de juicio y no probabilístico, para este caso se tiene la muestra de 15 pozos artesanales con distancias contiguas a las letrinas, determinados de acuerdo al protocolo de monitoreo de agua (Digesa, 2015) ajustándose al principio de representatividad de la muestra.

### **3.6. Materiales y equipos**

Equipo contador de colonias modelo 570 suntex, incubadora, frasco de Erlenmeyer, Bomba de vacío, tubo de cloruro de polivinilo de 5 pulg. de 70 cm de longitud sin tapa ni base, envases de polietileno de alta densidad, termómetro, cronómetro, cordón de nylon, cinta métrica, Un balde, un frasco o una botella para colocar de 1 a 2 litros de agua, frascos de vidrio esterilizados, cooler, GPS de mano (GARMIN - Montana 650), multiparámetro portátil (HACH HG40d).

### **3.7. Muestreo de agua de pozos**

Se prepararon los envases o frascos de vidrio de muestreo microbiológica debidamente esterilizados, durante la ubicación del punto de muestreo fue identificado a través del sistema de posicionamiento satelital (GPS), la misma que se registró en coordenadas UTM y utilizó para el registro de información (Knappett *et al.*, 2011), posteriormente se realizó la toma de muestra para pozos artesanales, donde

se utilizó un cordón de nylon esterilizado para el muestreo como medio sujetador situado en un extremo del cable para sacar el agua, se colocó el frasco de muestreo en el pozo o reservorio, teniendo cuidado de no rozarlo contra las paredes de la estructura, permitiendo que el frasco de muestreo se sumerja alrededor de 30 centímetros para luego retirar el frasco de muestro del pozo con cuidado, las muestras se transportaron en un cooler de plástico con refrigerante que permite que la muestra se conserve a temperatura de refrigeración, conforme la ficha técnica para la toma de muestras según RD 160-2015/DIGESA. En el laboratorio la muestra fue conservada a temperatura de refrigeración hasta el inicio del examen.

Tabla 2

*Criterios de toma de muestras de agua según los parámetros*

<b>Parámetros</b>	<b>Tipo de Frasco</b>	<b>Volumen de Muestra</b>	<b>Preservación</b>	<b>Tiempo de Almacenamiento</b>
Coliformes Totales y Fecales ( <i>E. coli</i> )	Vidrio	200 mL	Refrigerar a 4 °C	24 horas

Fuente: NTP ISO/IEC 17025 citado por (Leyva & Espinoza, 2010)

### **3.8. Metodología de recolección de información**

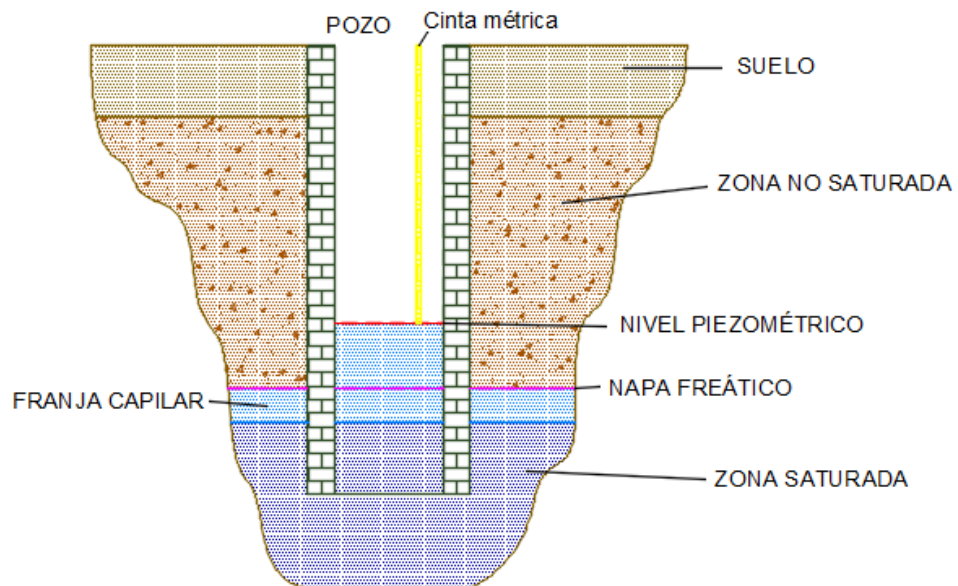
#### **3.8.1. Medición de distancias contiguas a las letrinas humanas**

Para alcanzar el objetivo de evaluar la influencia de las letrinas en relación de las distancias contiguas a los pozos de agua y la calidad microbiológica del agua subterránea, se recogió información tomando en cuenta la ubicación específica de los pozos según el ámbito de estudio y la distribución de los pozos de agua (figura 2), donde se ha tomado en cuenta el principio de representatividad en el cual se evaluaron 15 pozos artesanales del área de estudio, de tal manera se realizó mediciones de longitud en unidades de sistema internacional, desde los pozos de agua hasta las letrinas humanas, asumiendo el criterio de los pozos con distancias más próximas a las letrinas (Dzwairo *et al.*, 2006).

### 3.8.2. Medición del nivel piezométrico

El segundo objetivo específico se cumplió para identificar la relación de la calidad microbiológica del agua y el nivel piezométrico, que permiten estimar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea.

Para la medición del nivel piezométrico se tomó en cuenta la importancia de contar con muestras representativas provenientes de distintas ubicaciones de los pozos, los 15 pozos se seleccionaron por reunir los requisitos necesarios para llevar a cabo tareas vinculadas al objetivo planteado, evaluar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea entonces se caracterizó los pozos tomando en cuenta los siguientes criterios de recolección de datos:



*Figura 5.* Detalle esquemático de la medición del nivel piezométrico

Fuente: Nivel piezométrico (Constantin *et al.*, 2017)

Un pozo en un acuífero confinado, el agua se descomprime y asciende por la entubación hasta alcanzar una posición situada por encima del techo del acuífero (figura 5), la altura (cota absoluta sobre el nivel del mar) que alcanza el agua se denomina nivel piezométrico (Constantin *et al.*, 2017), entonces las mediciones de la profundidad se realizaron a la altura del nivel piezométrico (Ravenscroft *et al.*,

2017), tomando en cuenta la profundidad de cada pozo evaluada y además asumiendo que cada pozo tiene diferentes niveles piezométricos.

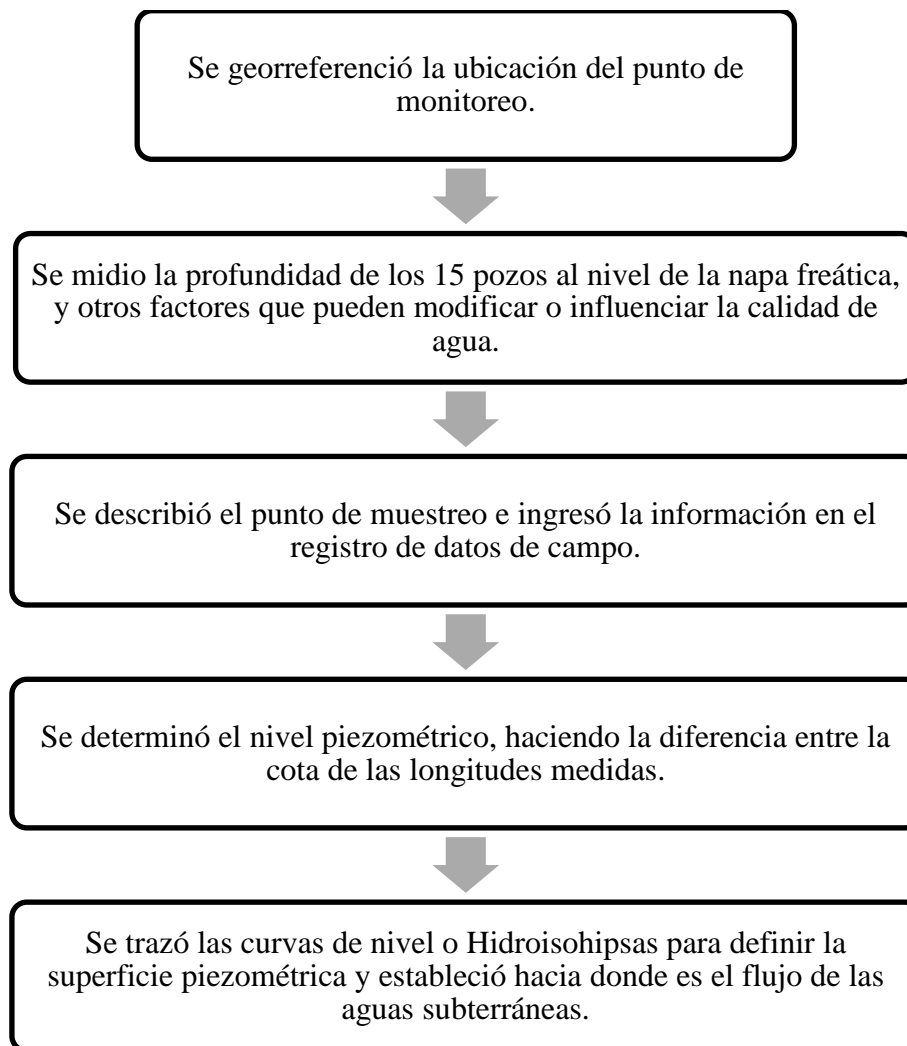


Figura 6. Diagrama de flujo de medición de nivel piezométrico

### 3.8.3. Medición de permeabilidad del suelo

El tercer objetivo específico se cumplió para evaluar la relación de la calidad microbiológica del agua y la permeabilidad del suelo, que permiten estimar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea.

Para comprender la influencia de la tasa de infiltración del suelo y la calidad del agua subterránea, se evaluó la tasa de infiltración o coeficiente de permeabilidad (Alam *et al.*, 2015), para valorar se ejecutaron 15 sondeos con la siguiente distribución: 2 a 5 m de la frontera de la letrina, tal como indica en la figura 2 – puntos de muestreo en el ámbito de estudio, luego se procedió a realizar la prueba para la determinación de la permeabilidad de la siguiente manera:

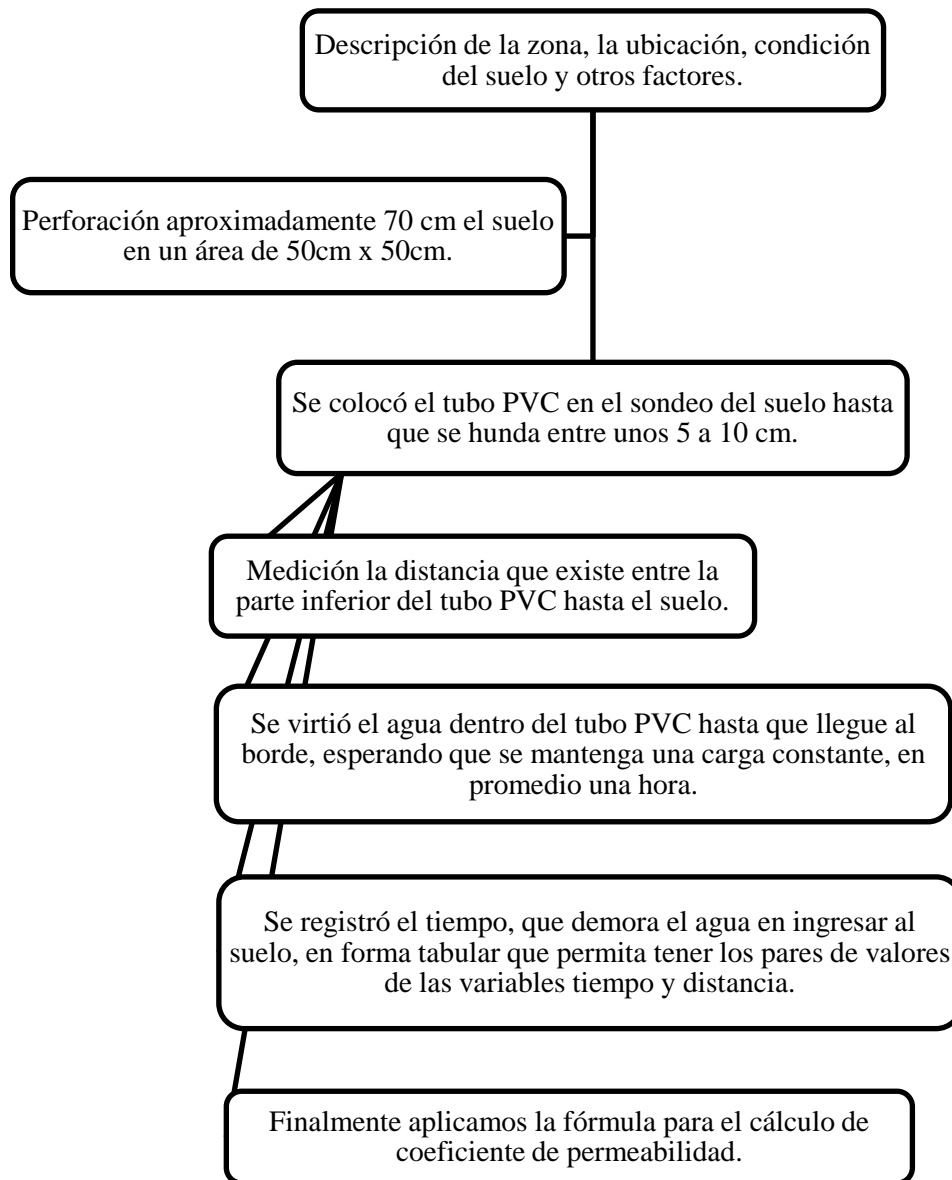


Figura 7. Diagrama de flujo de determinación de permeabilidad

Fuente: Diagrama de flujo de determinación de permeabilidad (Elhakim, 2016)

### **3.9. Cuantificación de carga microbiológica de coliformes**

#### **3.9.1. Método filtración por membrana**

Según Calsín (2016) sugiere utilizar las metodologías de la norma técnica peruana (2012), todos los parámetros considerados en la investigación se realizaron según las condiciones de análisis en los siguientes laboratorios: laboratorio de control de calidad de la EPS. SEDA JULIACA.S.A. e HIDRALT S.R.L.

Se colocó almohadillas absorbentes en las placas petri esterilizadas y rotuladas, donde se agregó 2 mL de M – Endo Ampules para coliformes totales, 2 mL de caldo de cultivo MFC – Broth Ampules para coliformes termotolerantes y caldo m – E. coli.

Con ayuda de un mechero bunsen como medio esterilizador y una pinza estéril se colocó el filtro de membrana esterilizada sobre el sistema de filtración, posteriormente se vertió 100 mL de agua (muestra 20 mL y Agua destilada 80 mL) en el embudo, procediendo a filtrar con el equipo de bomba de vacío, luego con ayuda de la pinza estéril se retiró el filtro de membrana para colocarlo en la placa.

Posteriormente se llevó a baño maría a temperatura de  $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  para los coliformes termotolerantes/*E. coli* y las placas de coliformes totales a una incubadora a temperatura de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, luego de ese tiempo se procedió a contabilizar las colonias de color rojo para coliformes totales en UFC/100mL y de color azul para coliformes termotolerantes en UFC/100 mL.

### **3.10. Análisis de resultado de los parámetros microbiológico**

Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron analizados tomando en cuenta los límites máximos permisibles microbiológicos según las normas peruanas de calidad de agua para el consumo humano (DIGESA/Ministerio de Salud, 2011) además, se utilizó un paquete software ArcGIS versión 10.5 para la interpretación del comportamiento de los diferentes parámetros microbiológicos evaluados en relación al objetivo general donde implica determinar la influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi.

Tabla 3

*Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos de agua de consumo humano*

<b>Parámetros</b>		<b>Unidad de medida</b>	<b>L.M.P</b>
Bacterias totales	coliformes	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
Bacterias fecales	coliformes	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)
	<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL a 44.5°C	0 (*)

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1.8 /100 mL.

Fuente: DIGESA/ Ministerio de salud 2011



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis descriptivo

Para esta investigación se presenta el análisis estadístico descriptivo de las características externas de los pozos de agua y las letrinas, como se muestra en la tabla 4, y los análisis de resultados de las muestras microbiológicas tal como indica la tabla 5 y tabla 6, también presentamos las figuras, tablas de parámetros estadísticos microbiológico, fisicoquímicos y su comportamiento ambiental.

Tabla 4

*Resumen estadístico de las características externas de los pozos de agua y las letrinas*

		Proximidad de letrinas y pozos	Profundidad de Pozo	Tasa de infiltración
N	Válido	15	15	15
	Perdidos	0	0	0
Media		27.5500	4.4233	0.0026424
Mediana		20.0000	4.5000	0.0016600
Moda		8.20 <sup>a</sup>	4.50 <sup>a</sup>	0.00083 <sup>a</sup>
Desviación estándar		18.24244	0.28465	0.00196173
Rango		63.80	1.10	0.00517
Mínimo		8.20	3.90	0.00083
Máximo		72.00	5.00	0.00600

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Para evaluar estadísticamente los mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas hay factores que incluyen condiciones hidrogeológicas (Engström, 2016), la tabla 4 resume estadísticamente las características externas a las letrinas, para posteriormente determinar los efectos de las letrinas de pozo sobre calidad del agua subterránea (Hoko *et al.*, 2006), donde se observa que la proximidad de letrinas y pozos de agua subterránea en promedio es de 27.55 m, con una distancia lateral mínima de 8.20 m, y con un valor máximo de 72 m. La profundidad de pozos al nivel de la napa freática es en promedio de 4.42 m, así mismo el nivel piezométrico fluctúa entre 3818.25 m.s.n.m. y 3832.5 m.s.n.m. sabiendo que esto influye en el nivel piezométrico, hay muchos factores que incluyen la geología y la influencia del nivel freático del suelo (Saleh *et al.*, 2017); Por otro lado la tasa de infiltración implica el tipo de suelo, dentro de los resultados obtenidos en promedio la tasa de infiltración es de  $2.6 \times 10^{-3}$  cm/s considerando que el valor mínimo de la tasa de infiltración es de  $8.3 \times 10^{-4}$  cm/s y con máximo de  $6 \times 10^{-3}$  cm/s, por lo tanto según la clasificación de los valores del coeficiente de permeabilidad (figura 1), este tipo suelo presenta un drenaje de bueno a pobre y el tipo de suelo son arenas muy finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, depósitos de arcillas estratificadas (Elhakim, 2016).

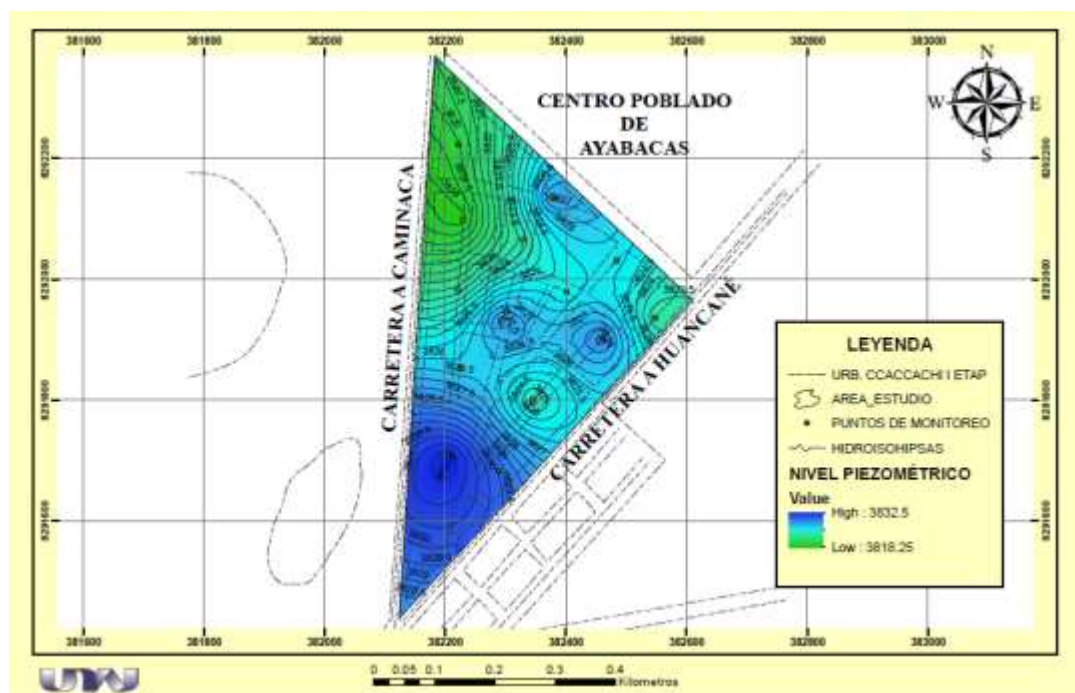


Figura 8. Mapa de hidroisohipsas del área de influencia según el nivel piezométrico

Asimismo la figura 8 describe el mapa de hidroisohipsas de acuerdo al nivel piezométrico es decir refiere el comportamiento de las áreas con alto nivel de napa freática a la más baja (Adeyeye, Ikpokonte, & Arabi, 2019), se observa que hay una tendencia de la distribución de red de drenaje del agua subterránea con un flujo que se expande a la zona noroeste de la urbanización San Isidro Ccaccachi, lo que puede influir con el flujo de la carga de contaminantes microbiológicos.

Tabla 5  
Resumen estadístico del análisis de los parámetros microbiológicos

	Coliformes totales	Coliformes fecales - termotolerantes	<i>E. Coli</i>
N Válido	15	15	15
perdidos	0	0	0
Media	286.00	41.00	35.67
Mediana	60.00	20.00	20.00
Moda	40 <sup>a</sup>	10	10
Desviación estándar	372.579	57.078	40.482
Rango	1220	220	145
Mínimo	30	5	5
Máximo	1250	225	150

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Según la tabla 5, resume el análisis estadístico de los parámetro microbiológicos, donde se ha encontrado coliformes totales en promedio 286.00 UFC, hallándose valores mínimos de 30 UFC y valores máximos de 1250 UFC, por otro lado se evidencia la presencia significativa de coliformes fecales en un promedio de 41.00 UFC, registrándose valores mínimos de 5 UFC, además de valores máximos de 225 UFC; Los resultados revelaron muy alta contaminación fecal del agua de los pozos (Thevenon & La, 2018), la presencia de bacterias coliformes fecales *Escherichia coli* 35.67 UFC promedio en las muestras indican que el agua es contaminado con el material fecal del hombre o de otros animales y por lo tanto hay un riesgo de contaminación del agua por agentes patógenos o bacterias que producen enfermedades (Dzwairo *et al.*, 2006).

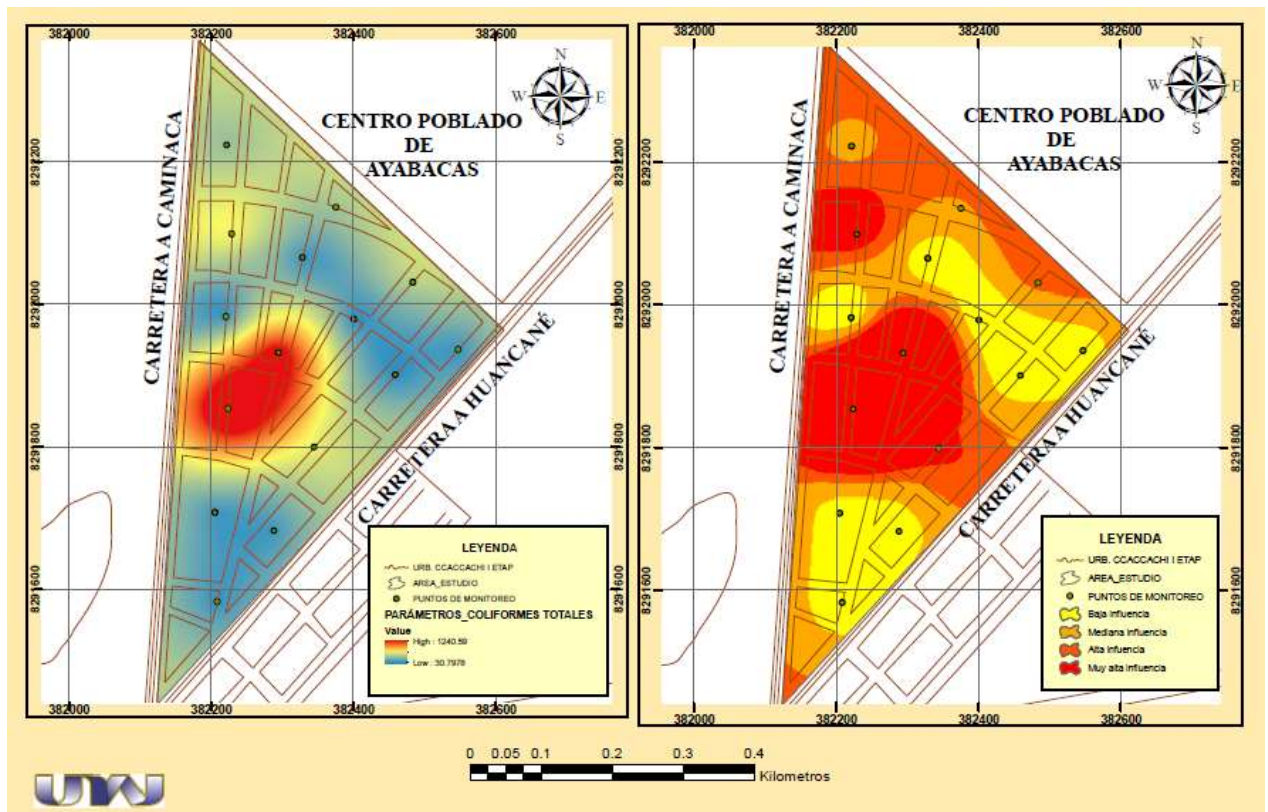


Figura 9. Mapa del área de influencia de los parámetros coliformes totales

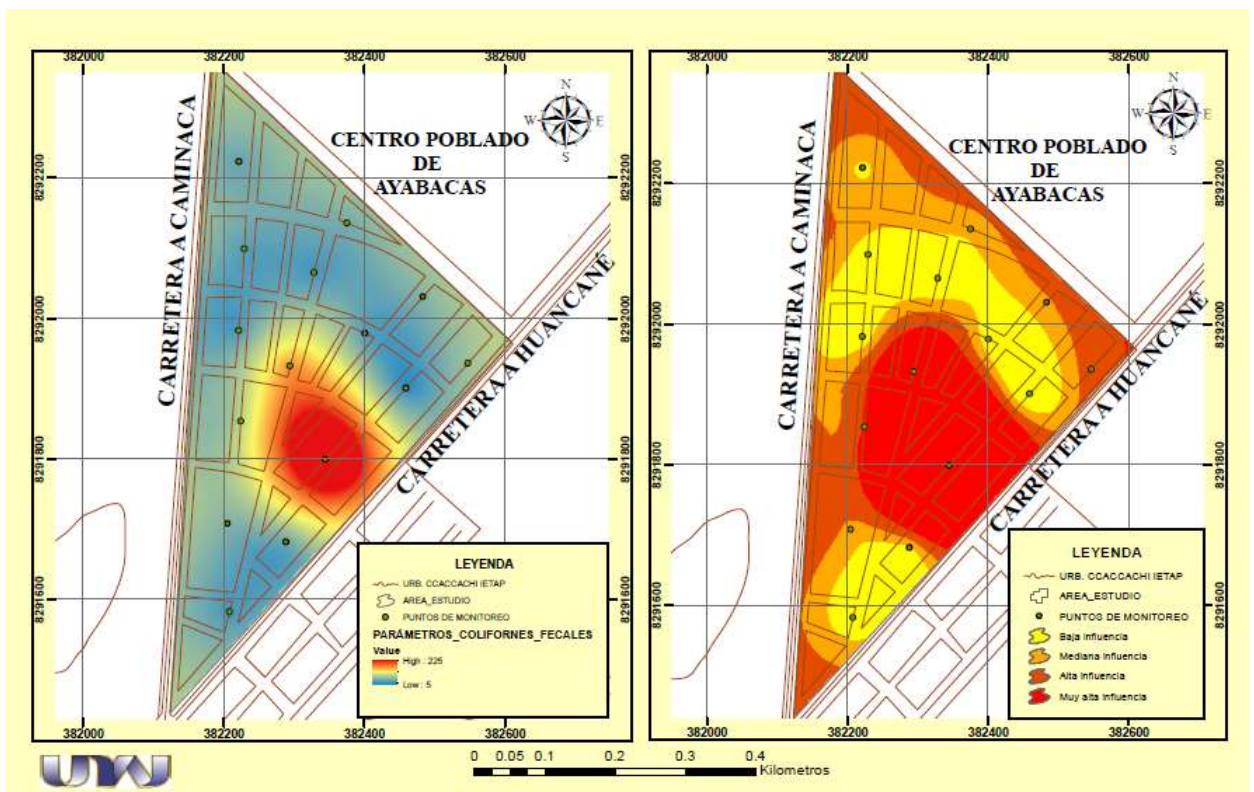


Figura 10. Mapa del área de influencia de los parámetros coliformes fecales

Además, en la figura 9 y 10 indica los resultados del área de influencia de los parámetros microbiológicos, donde la calidad del agua de los pozos evaluados son más propensos a ser afectados por las instalaciones de saneamiento in situ; es decir las fuentes más comunes de contaminación fecal de las aguas subterráneas en la zona, sea por letrinas y desagües de aguas residuales sin forro (Lutterodt *et al.*, 2018), las concentraciones de bacterias fecales están relacionados con el número de letrinas alrededor de un pozo de agua (Knappett *et al.*, 2011), podemos indicar que en todas partes la magnitud y la frecuencia de detecciones de coliformes fecales declinan rápidamente con la distancia desde las letrinas (Ravenscroft *et al.*, 2017).

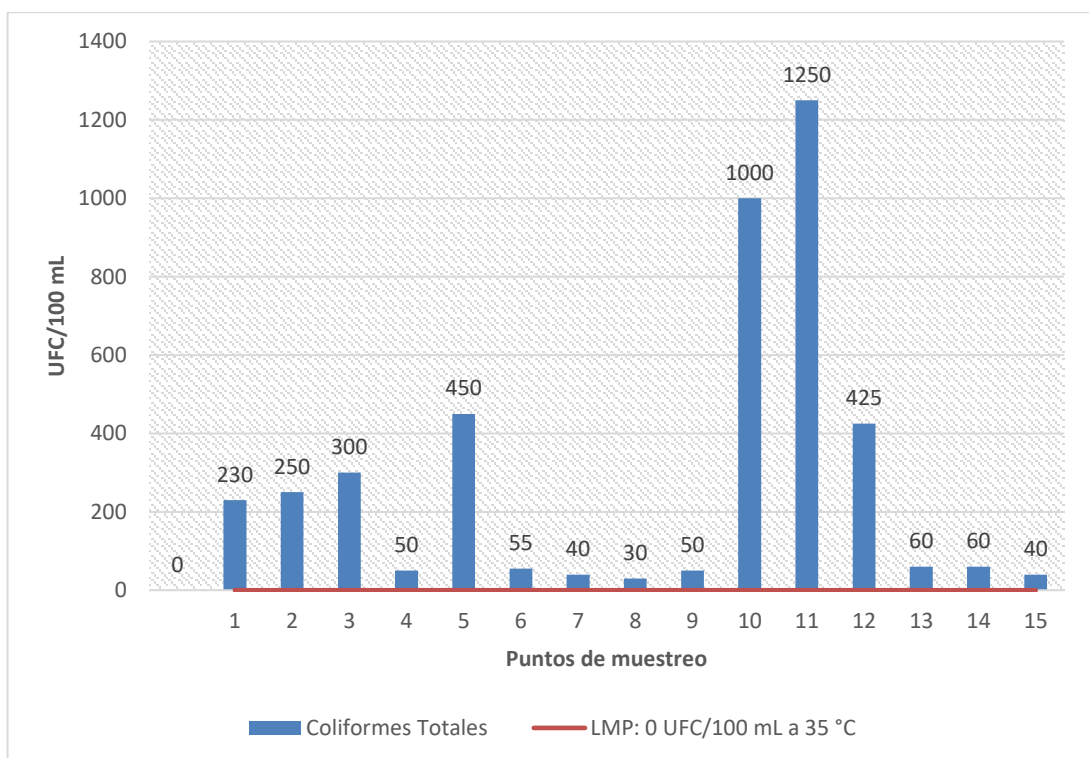


Figura 11. Valores de los parámetros microbiológicos – coliformes totales

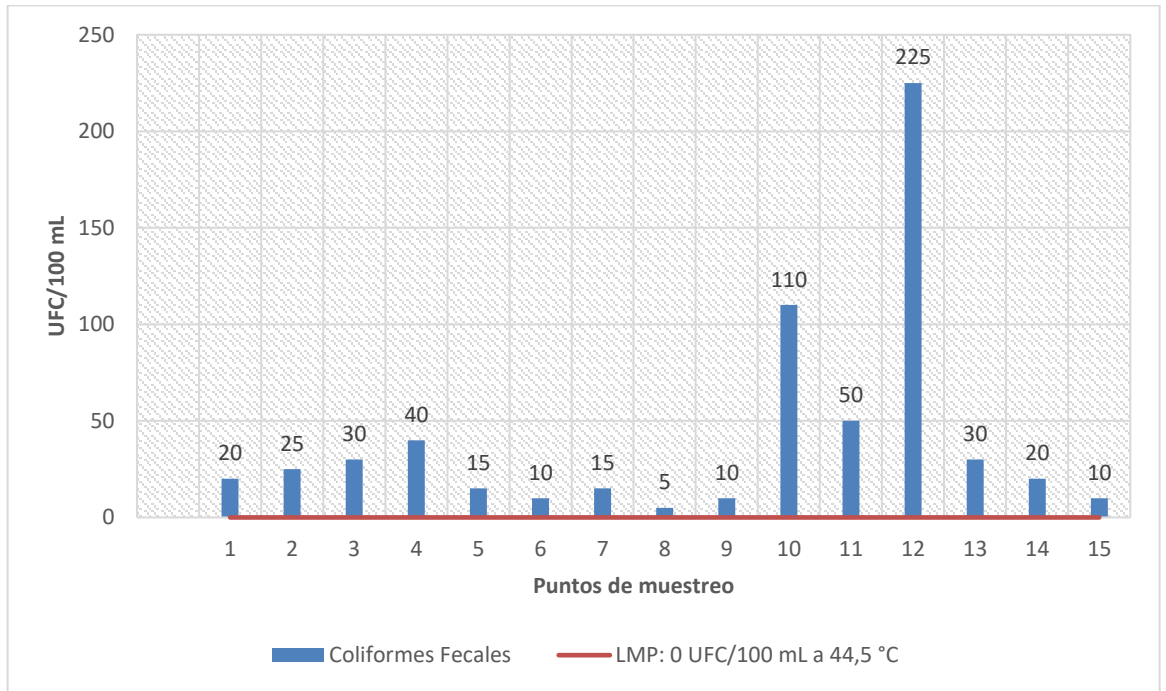


Figura 12. Valores de los parámetros microbiológicos – coliformes fecales

De las figuras 11 y 12 se puede evidenciar los valores microbiológicos por cada punto de muestreo; donde la presencia de coliformes indica que el agua puede estar contaminada con microorganismos que pueden causar enfermedades (Abdalla & Khalil, 2018); en cuanto a los coliformes totales se observa que de 15 pozos evaluados el 53.3 % presenta valores entre 30 – 60 UFC/100 mL, y el 46.7% de los pozos muestran valores entre 230 - 1250 UFC/100 mL, de los cuales los Pozos 10,11 y 12 son más propensos a contaminarse si está sujeto a una carga contaminante significativa (Martínez *et al.*, 2017), los coliformes totales y fecales están fuertemente correlacionados entre sí; por lo mismo los coliformes fecales reflejan el impacto de carga fecal, es decir indica niveles de contaminación fecal del agua (Knappett *et al.*, 2011) tal como muestra la tabla 5 donde el 40% de los pozos de agua subterránea evaluada indican valores entre 5 – 15 UFC/100 mL y el 60 % manifiestan valores muy superiores entre 20 – 225 UFC/100 mL, cabe precisar de que los pozos 10, 11 y 12 también indicaron niveles elevados de ambos coliformes totales y fecales (Dzwairo *et al.*, 2006), éstos pozos de agua subterránea se encuentran entre 8.20 m - 14 m de distancia de las letrinas más cercanas.

Tabla 6  
Comparación de límite máximo permisible de parámetros microbiológicos

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Estándares Nacionales	Estándares Internacional
						DIGESA* (2011)	OMS (2012)
Coliformes totales	UFC/100 mL a 35 °C	30	1250	286.00	372.579	0	0
Coliformes fecales	UFC/100 mL a 44.5°C	5	225	41.00	57.078	0	0
<i>E. Coli</i>	UFC/100 mL	5	150	35.67	40.482	0	0

\* Límite máximo permisible de parámetros de calidad de agua para consumo humano

De acuerdo a directrices de la OMS (2012), el 100% de los resultados debe tener un valor de 0 UFC/100 mL a fin de que el agua se considera seguro para el consumo humano (Dzwaïro *et al.*, 2006); en la tabla 6 se muestra que el 100% de los resultados de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* superan los límites máximos permisibles de parámetros de calidad de agua para consumo humano según los estándares nacionales (DIGESA/Ministerio de Salud, 2011), y de acuerdo a la OMS (2011), las poblaciones de coliformes son indicadores de contaminación patogénica, por ello los coliformes fecales mayor que 100 UFC/100 mL plantea riesgos para la salud de los seres humanos (Muzenda, Masocha, & Misi, 2019).

Tabla 7  
Resumen de estadístico de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Estándares Nacionales	Estándares Internacional
						DIGESA* (2011)	OMS (2012)
pH	-	7,5	8.9	7.900	0.3525	6.5 – 8.5	6.5 – 8.6
Sólidos totales disueltos	mg/L	380	1280	842.67	259.930	1 000	1000
Conductividad eléctrica	µS/cm	790	2560	1693.33	511.938	1500	1500
Temperatura	°C	14.0	17.2	15.540	0.9818	-	-

\* Límite máximo permisible de parámetros de calidad de agua para consumo humano

En la tabla 7 se puede apreciar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos donde; la conductividad varía desde 790 hasta 2560  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una media de 1693.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a una desviación estándar de 511.938 para todos los puntos de muestreo como indica; por lo tanto se observa que son valores mucho más altos que los límites recomendados de la guía Organización Mundial de la Salud para el agua potable (Kayembe *et al.*, 2018). El pH osciló entre 7.5 a 8.9 los valores registrados están dentro del límite máximo permisible de parámetros de calidad de agua para consumo humano según los estándares nacionales e internacionales excepto el punto P-4, que sobrepasa los límites recomendados, lo cual es indicativo de agua ligeramente alcalino (Abdalla & Khalil, 2018) en la mayoría de los puntos hay una tendencia alcalina con una media de 7.9 a una desviación estándar de 0.3525 según Dzwaïro *et al.*, (2006) éste comportamiento se debe a la presencia de amonio-nitrógeno que podría haber causado los niveles de pH elevados, es decir esto sugiere que la variación de pH podría estar relacionado con la orina procedente de las letrinas de pozo, además de que la temperatura registrada oscila entre 14.0 °C a 17.2 °C. La temperatura, pH y la conductividad eléctrica, están significativamente asociado con ambos atributos hidrogeológicas, tales como el subsuelo y el tipo de lecho de roca, así como la presencia de *E. coli* (Engström *et al.*, 2015) donde las temperaturas más altas pueden aumentar el riesgo de crecimiento microbiano. Los resultados de sólidos totales disueltos fluctúan entre los valores de 380 mg/L a 1280 mg/L con una media de 842.67 mg/L a una desviación estándar de 259.930 mg/L, donde los puntos de monitoreo P-2, P-4, P-7 y P-11 registran valores por encima de los límites máximos permisibles según los estándares nacionales e internacionales, es decir el 26.6% exceden los límites recomendados.



## 4.2. Análisis inferencial

### *Prueba de Shapiro-Wilks*

Cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50 la prueba de contraste de bondad de ajuste a una distribución normal es la prueba de Shapiro-Wilks (Romero, 2016). Para la prueba Shapiro-Wilks, el estadístico presenta un valor de significación estadística ( $p = p$  - valor). Cuando  $p$  es mayor de 0.05, entonces, se acepta  $H_0$ , y se afirma que la variable sigue una distribución normal.

Tal como se puede observar en la tabla 8, el análisis de la prueba de Shapiro-Wilks indica valores superiores al 0.05 tanto en la variable calidad microbiológica del agua subterránea y letrinas, esto indica la predominancia de valores superiores al alfa, por lo tanto, aceptamos la  $H_0$  en todos los casos asumiendo que los datos provienen de una distribución normal, por lo cual, es recomendable utilizar un estadístico paramétrico, en este caso, el coeficiente de correlación de Pearson pues las variables son cuantitativas de naturaleza categórica de razón .

Tabla 8  
*Pruebas de normalidad*

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Calidad microbiológica del agua subterránea.	Coliformes Totales	0.713	15	0.198
	Coliformes Fecales – Termotolerantes	0.601	15	0.071
	<i>E. Coli</i>	0.737	15	0.262
Letrinas.	Proximidad de letrinas y pozos	0.843	15	0.143
	Nivel piezométrico	0.966	15	0.790
	Tasa de infiltración	0.786	15	0.352

Tabla 9

*Análisis de correlación entre las variables*

		Coliformes Totales	Coliformes Fecales - Termotolerantes	<i>E. Coli</i>	Proximidad de letrinas y pozos	Nivel Piezométrico	Tasa de infiltración
Coliformes Totales	Correlación de Pearson	1	0.423	0.555*	-0.547*	0.354	0.816**
	Sig. (bilateral)		0.016	0.032	0.035	0.195	0.000
	N	15	15	15	15	15	15
Coliformes Fecales - Termotolerantes	Correlación de Pearson	0.423	1	0.972**	-0.344	-0.266	0.717**
	Sig. (bilateral)	0.016		0.000	0.049	0.337	0.003
	N	15	15	15	15	15	15
<i>E. Coli</i>	Correlación de Pearson	0.555*	0.972**	1	-0.364	-0.203	0.797**
	Sig. (bilateral)	0.032	0.000		0.041	0.468	0.000
	N	15	15	15	15	15	15
Proximidad de letrinas y pozos	Correlación de Pearson	-0.547*	-0.344	-0.364	1	-0.399	-0.579*
	Sig. (bilateral)	0.035	0.049	0.041		0.140	0.024
	N	15	15	15	15	15	15
Nivel Piezométrico	Correlación de Pearson	0.354	-0.266	-0.203	-0.399	1	0.058
	Sig. (bilateral)	0.195	0.337	0.468	0.140		0.836
	N	15	15	15	15	15	15
Tasa de infiltración	Correlación de Pearson	0.816**	0.717**	0.797**	-0.579*	0.058	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.003	0.000	0.024	0.836	
	N	15	15	15	15	15	15

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

## 4.2.1. Análisis estadístico y prueba de hipótesis

### 4.2.1.1. Pruebas de hipótesis estadística

a) En relación al objetivo general

Ho:  $\beta=0$  (No existe influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi).

Ha:  $\beta\neq 0$  (Existe influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi).

#### Regla de decisión

— Acepto Ha si  $p < 0.05$

— Rechazo Ho si  $p < 0.05$

#### Decisión

Se rechaza la Ho, ya que el p - valor es menor al 0.05; a un nivel de significancia del 5%, se ha hallado que el p - valor está por debajo del alfa, por lo tanto, se rechaza la Ho a favor de la Ha. Se concluye que existe influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi,

Tabla 10

*Resumen de los coeficientes de modelo de ecuación predictora*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	294,706	203.668		1.447	0.176	-1530.565	742.977
Proximidad de letrinas y pozos	-0.247	0.806	-0.079	-0.307	0.034	2.020	15.526
Nivel piezométrico	-67.834	42.157	-0.338	-1.609	0.136	-160.620	24.952
Permeabilidad	20114.821	6880.721	0.691	2.923	0.014	4970.457	35259.186

a. Variable dependiente: Coliformes Fecales - Termotolerantes

Según la información proporcionada de la tabla 10, la ecuación que representa la regresión de la proximidad entre letrinas - pozos ( $X_1$ ) y permeabilidad (tasa de infiltración) ( $X_2$ ) sobre la coliformes fecales – termotolerantes (*E. coli*) es:

$$Y=294.706 - 0.247(X_1) + 2.01E4 (X_3) + e$$

lo cual refleja que por una unidad más en la variable distancia entre letrinas y pozos ( $X_1$ ) se disminuye los coliformes fecales - termotolerantes (*E. coli*) sólo en 0.247 unidades. Respecto a la permeabilidad (tasa de infiltración) ( $X_2$ ), las unidades de coliformes fecales suben en 2.01E4 décimas por cada unidad más puntuada en esta última variable. Por último, las unidades de coliformes Fecales - Termotolerantes prevista en ausencia de proximidad entre letrinas y pozos y de permeabilidad (tasa de infiltración) alguna es de 294.706.

Tabla 11  
*Resumen del modelo de la ecuación del objetivo general*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio					
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	g1	g2	Sig. Cambio en F	Durbin-Watson
1	0.783 <sup>a</sup>	0.613	0.508	40.046	0.613	5.813	3	11	0.012	1.800

a. Predictores: (Constante), Tasa de infiltración, Proximidad de letrinas y pozos

b. Variable dependiente: Coliformes Fecales - Termotolerantes

Según la prueba estadística R de Pearson para ver el grado de relación, se observa que el (R= 0.783) indica una correlación positiva media entre las variables de investigación, para conocer si la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) esta predicho por la proximidad de letrinas - pozos, nivel piezométrico, tasa de infiltración, se llevó a cabo una regresión lineal múltiple. Los resultados de la tabla 11, muestran que todos los índices de significancia son adecuados excepto el nivel piezometrico y que en conjunto las variables predicen que el 61.3% tienen influencia de letrinas; se concluye que existe influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la Urbanización San Isidro Ccaccachi, este resultado reafirma que la presencia de una letrina puede explicar la contaminación

fecal en un pozo cercano (Nayebare *et al.*, 2019); por otra parte, la distancia más cercana a letrinas o un gran número de letrinas en un radio determinado plantea una amenaza de mayor contaminación que una sola letrina (Alcaide & Santos, 2019).

*b) En relación al primer objetivo específico*

Ho:  $\beta_1=0$  (No existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea y las distancias contiguas a los pozos de agua).

Ha:  $\beta_1\neq 0$  (Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea y las distancias contiguas a los pozos de agua).

### Regla de decisión

— Acepto Ha si  $p < 0.05$

— Rechazo Ho si  $p < 0.05$

### Decisión

Se rechaza la Ho, ya que el p - valor es menor al 0.05; a un nivel de significancia del 5%, se ha hallado que el p - valor está por debajo del alfa, por lo tanto, se rechaza la Ho a favor de la Ha. Se concluye que existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a las distancias contiguas a los pozos de agua.

Tabla 12

*Análisis de coeficiente de regresión del primer objetivo específico*

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Error estándar	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	70.688	26.644		2.653	0.020
	Proximidad de letrinas y pozos	-1.078	0.815	-0.344	-1.323	0.019

a. Variable dependiente: Coliformes Fecales - Termotolerantes

Donde:

Y: Coliformes Fecales – termotolerantes (*E. coli*)

X<sub>1</sub>: Proximidad de letrinas y pozos

B<sub>1</sub>= -1,078

Cuando aumenta la distancia entre el pozo y letrina, la presencia de coliformes fecales – termotolerantes disminuyen en -1,078 UFC/mL.

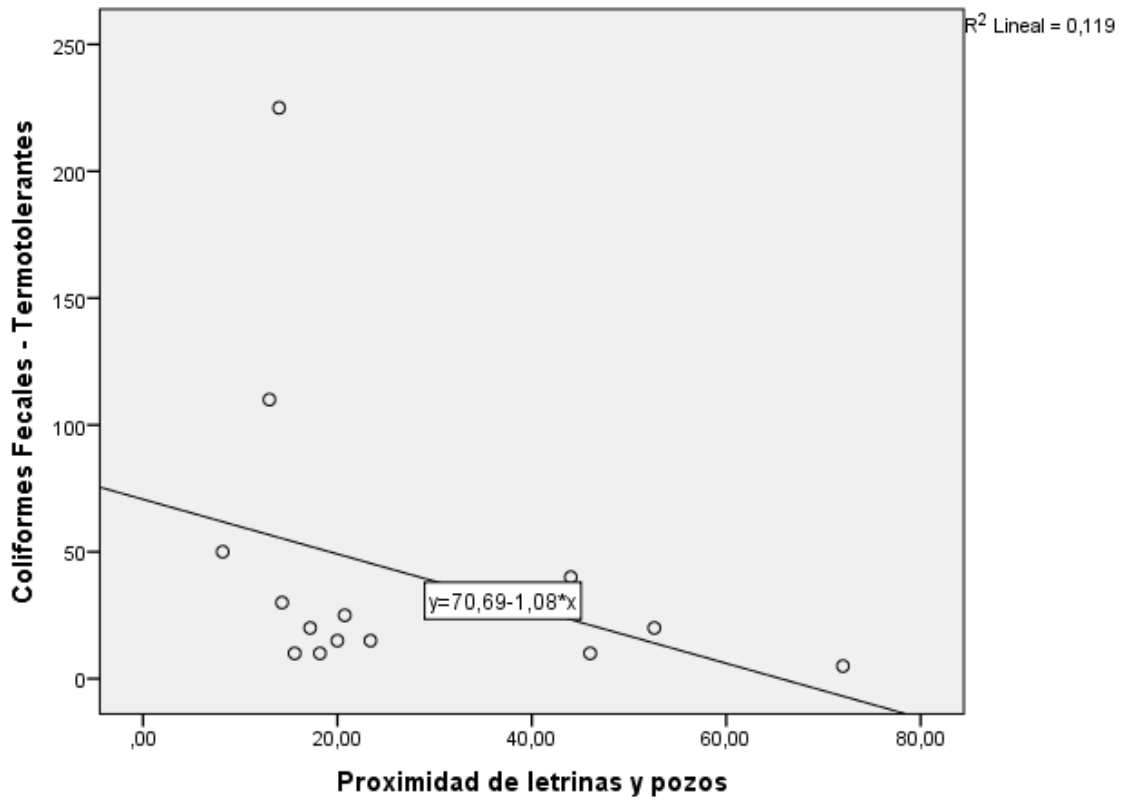


Figura 13. Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y distancias contiguas a los pozos de agua

Tabla 13  
Resumen del modelo de la ecuación del primer objetivo específico

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	0.344 <sup>a</sup>	0.119	0.051	55.608	0.119	1.750	1	13	0.019

a. Predictores: (Constante), Proximidad de letrinas y pozos

### Discusión

Según la prueba estadística R de Pearson para ver el grado de relación, se observa que el ( $R = -0.344$ ) indica una correlación de tipo inversa débil entre las variables de investigación, para conocer si la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) esta predicho por la proximidad de letrinas - pozos, se llevó a cabo una regresión lineal simple. Los resultados de la tabla 13, muestran que todos los índices de significancia son adecuados y que el 11.9% de la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) en los pozos de agua, se debe a la variación de la proximidad de letrinas. Se concluye que existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a las distancias contiguas a los pozos de agua, para Knappett *et al.* (2011) las concentraciones de bacterias indicadoras fecales se correlacionaron con la población estudiada a una distancia de 30 – 70 m ( $p < 0.05$ ), según los resultados evidenciados la proximidad de letrinas y pozos de agua subterránea en promedio fueron de 27.55 m, según Dzwauro *et al.* (2006) los resultados indican que las letrinas de pozo tienen un impacto microbiológico en la calidad del agua subterránea hasta 25 m de distancia lateral, esto quiere decir que ciertos patógenos pueden viajar distancias más largas que las bacterias indicadoras en condiciones hidrogeológicas similares, esto puede poner en peligro a suministros de agua subterránea (Alcaide & Santos, 2019).

c) *En relación al segundo objetivo específico*

Ho:  $\beta=0$  (No existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico).

Ha:  $\beta\neq 0$  (Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico).

**Regla de decisión**

— Acepto Ha si  $p < 0.05$

— Rechazo Ho si  $p < 0.05$

**Decisión**

Se rechaza la Ho, ya que el p - valor es mayor al 0.05; a un nivel de significancia del 5%, se ha hallado que el p - valor está por encima del alfa, por lo tanto, se rechaza la Ha a favor de la Ho. Se concluye que no existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico.

Tabla 14  
*Análisis de coeficiente de regresión del segundo objetivo específico*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
	B	Error estándar	Beta	t	
1 (Constante)	277.310	237.568		1.167	0.264
Nivel piezométrico	-53.423	53.604	-0.266	-0.997	0.337

a. Variable dependiente: Coliformes Fecales - Termotolerantes

Donde:

Y: Coliformes Fecales - termotolerantes

X<sub>1</sub>: Nivel piezométrico

B<sub>1</sub>= -53,423



Por cada unidad que aumenta la profundidad del pozo (nivel piezométrico), la presencia de coliformes fecales – termotolerantes disminuyen en -53,423UFC/mL

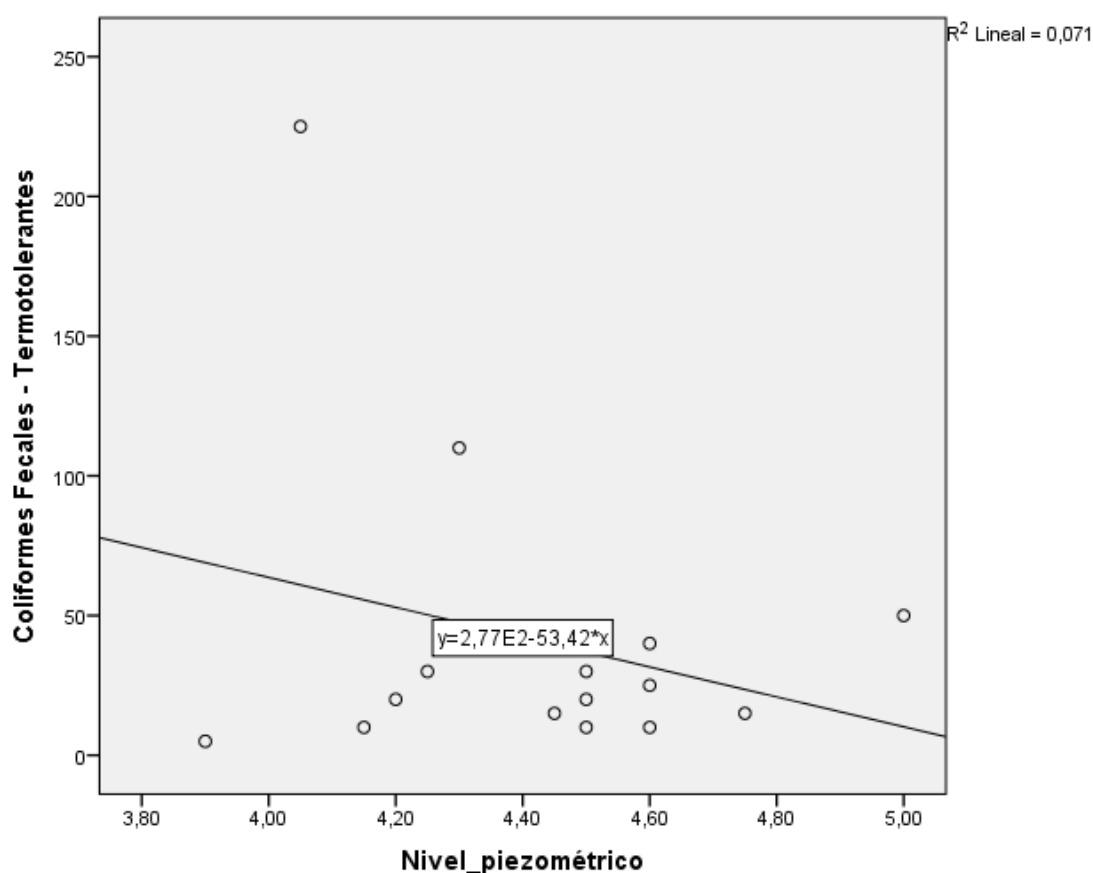


Figura 14. Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y nivel piezometrico

Tabla 15

Resumen del modelo de la ecuación del segundo objetivo específico

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	0.266 <sup>a</sup>	0.071	0.000	57.091	0.071	0.993	1	13	0.337

a. Predictores: (Constante), Nivel piezométrico

### Discusión

Según la prueba estadística R de Pearson para ver el grado de relación, se observa que el (R= - 0.266) indica una correlación negativa muy débil entre las variables de

investigación, para conocer si la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) esta predicho por la profundidad de los pozos al nivel piezométrico, se llevó a cabo una regresión lineal simple. Los resultados de la tabla 15, muestran que el 7.1% de la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) en los pozos de agua, se debe a la variación de la profundidad de los pozos al nivel piezométrico, según el mapa de hidroisohipsas de acuerdo al nivel piezométrico describe que hay una tendencia de la distribución de red de drenaje del agua subterránea con un flujo que se expande a la zona noroeste de la urbanización San Isidro Ccaccachi, lo que puede influir con el flujo de la carga de contaminantes microbiológicos (Adeyeye *et al.*, 2019), el nivel del agua subterránea poco profunda favorece la contaminación potencial (Talalaj & Biedka, 2016) de coliformes totales y fecales que se detectaron en algunos pozos poco profundos (Moyo, 2013)

d) *En relación al tercer objetivo específico*

Ho:  $\beta=0$  (No existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo).

Ha:  $\beta\neq 0$  (Existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo).

### **Regla de decisión**

— Acepto Ha si  $p < 0.05$

— Rechazo Ho si  $p < 0.05$

### **Decisión**

Se rechaza la Ho, ya que el p - valor es menor al 0.05; a un nivel de significancia del 5%, se ha hallado que el p - valor está por debajo del alfa, por lo tanto, se rechaza la Ho a favor de la Ha. Se concluye que existe influencia de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación a la permeabilidad del suelo.

Tabla 16  
Análisis de coeficiente de regresión del tercer objetivo específico

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Error estándar	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-14.150	18.283		-0.774	0.453
	Tasa de infiltración	20870.996	5622.466	0.717	3.712	0.003

a. Variable dependiente: Coliformes Fecales - Termotolerantes

Donde:

Y: Coliformes Fecales - termotolerantes

X<sub>1</sub>: Permeabilidad del suelo (tasa de infiltración)

B<sub>1</sub>= 2.09E4

Por cada unidad que aumenta la permeabilidad de suelo (tasa de infiltración), la presencia de coliformes fecales – termotolerantes aumenta en 2.09E4 UFC/mL

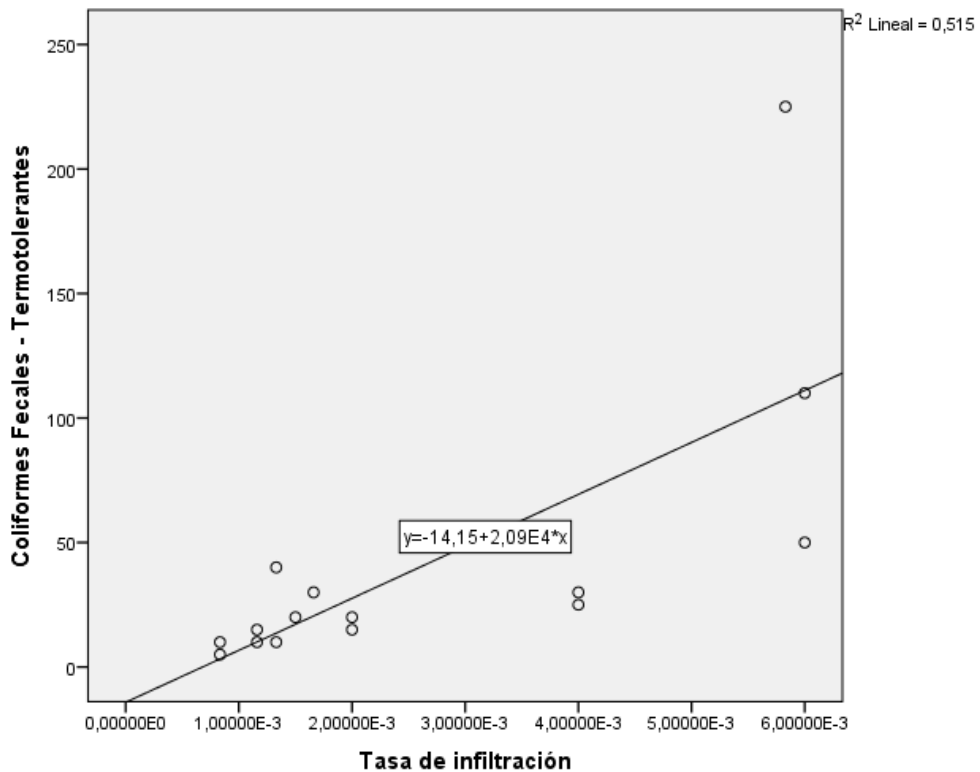


Figura 15 Correlación entre las variables calidad microbiológica del agua subterránea y tasa de infiltración

Tabla 17  
Resumen del modelo de la ecuación del tercer objetivo específico

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	0.717 <sup>a</sup>	0.515	0.477	41.269	0.515	13.779	1	13	0.003

a. Predictores: (Constante), Tasa de infiltración

### Discusión

Según la prueba estadística R de Pearson para ver el grado de relación, se observa que el (R= 0.717) indica una correlación positiva considerable entre las variables de investigación, para conocer si la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) está predicho por la permeabilidad de suelo (tasa de infiltración), se llevó a cabo una regresión lineal simple. Los resultados de la tabla 17, muestran que todos los índices de significancia son adecuados y que el 51.5% de la presencia de coliformes fecales (*E. coli*) en los pozos de agua, se debe a la variación de la tasa de infiltración (permeabilidad de suelo), esto responde al resultado obtenido donde el promedio de la tasa de infiltración es de  $2.6 \times 10^{-3}$  cm/s en tanto según la clasificación de los valores del coeficiente de permeabilidad, este tipo de suelo presenta un drenaje de bueno a pobre y el tipo de suelo determinado son arenas muy finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, depósitos de arcillas estratificadas (Elhakim, 2016). El resultado menciona que los suelos arcillosos son conocidos para impedir la infiltración debido a su baja permeabilidad, mientras que los suelos de arena a menudo permiten aumentar la infiltración de acuerdo a su mayor permeabilidad (Adeyeye *et al.*, 2019), el tipo de suelo formado en un área también juega un papel importante en la recarga del agua subterránea por la infiltración y la pérdida a través de la escorrentía (Adeyeye *et al.*, 2019) también se sabe que los pozos en suelos arcillosos son más susceptibles a la contaminación microbiana que los suelos arenosos (Moyo, 2013).

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación está basado en datos estadísticos, presentan las siguientes conclusiones:

Los análisis realizados a un nivel de significancia de 5%, determinaron que en conjunto las variables predicen que el 61.3% revelan la existencia de influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en la urbanización San Isidro Ccaccachi, los valores estadísticos ( $r= 0.783$ ) proporciona una correlación positiva media entre las variables de investigación, este resultado afirma que las concentraciones de coliformes fecales están relacionadas con la densidad de letrinas alrededor de un pozo de agua, así mismo se demostró que el 100% de los resultados de coliformes totales, fecales y *E. coli* superan los límites máximos permisibles de parámetros de calidad de agua para consumo humano según la directriz de la OMS (2011) y los estándares nacionales (DIGESA/Ministerio de Salud, 2011).

Las distancias entre las letrinas y los pozos de agua influyen en la calidad microbiológica del agua subterránea, donde se evaluó que los índices de significancia son adecuados y que la presencia de coliformes fecales /*E. coli* en los pozos de agua, se debe en 11.9% a la variación de la proximidad de letrinas, éstos pozos de agua se encuentran entre 8.20 m - 14 m de distancia de las letrinas más cercanas, según la prueba estadística  $r$  de Pearson para ver el grado de relación, se obtuvo que el ( $r= - 0.344$ ) indica una correlación de tipo inversa débil entre las variables de investigación, esto demuestra que la presencia de una letrina está relacionada con la contaminación fecal en un pozo cercano, es decir, que la distancia más cercana a una letrina o un gran número de letrinas en un radio determinado representa una amenaza de mayor contaminación microbiológica.

Se identificó que el 7.1% de la presencia de coliformes fecales *E. coli* en los pozos de agua, se debe a la variación de la profundidad de los pozos al nivel piezométrico, según la prueba estadística  $r$  de Pearson para ver el grado de relación, se observa que el ( $r = - 0.266$ ) indica una correlación negativa muy débil entre las variables de investigación, sin embargo, según el nivel de confiabilidad de la prueba estadística regresión lineal indica que no existe influencia significativa de las letrinas en la calidad microbiológica del agua subterránea en relación al nivel piezométrico, a pesar de ese resultado el mapa de hidroisohipsas de acuerdo al nivel piezométrico describe que hay una tendencia de la distribución de red de drenaje del agua subterránea con un flujo que se expande a la zona noroeste de la urbanización San Isidro Ccaccachi, sabiendo que esto puede influir en la carga microbiológica, sin embargo, hay muchos factores que incluyen la hidrogeología.

Se evaluó que el 51.5% de la presencia de coliformes fecales *E. coli* en los pozos de agua, se debe a la variación de la tasa de infiltración (permeabilidad de suelo), se observa que el ( $r = 0.717$ ) indica una correlación positiva considerable entre las variables de investigación, la presencia de coliformes fecales *E. coli* esta predicho por la permeabilidad de suelo (tasa de infiltración), dentro de los resultados obtenidos en promedio la tasa de infiltración es de  $2.6 \times 10^{-3}$  cm/s, esto implica el tipo de suelo, según la clasificación de los valores del coeficiente de permeabilidad, presenta un drenaje de bueno a pobre y el tipo de suelo determinado son arenas muy finas y limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, depósitos de arcillas estratificadas, este tipo de suelo es susceptible a la infiltración de la contaminación microbiana.

## **RECOMENDACIONES**

A las autoridades nacionales, regionales, municipales y autoridades del sector salud, intervenir en zonas urbano marginales, rurales que carecen de saneamiento básico, agua potable y alcantarillado sanitario.

A los pobladores de la Urbanización de San Isidro de Ccaccachi II etapa en coordinación con autoridades aliadas, realizar talleres de capacitación y orientaciones de desinfección de agua para consumo.

A los investigadores, tesisistas se recomienda realizar estudios similares en diferentes zonas o ámbitos de estudio en el que se incluya otros factores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, F., & Khalil, R. (2018). urban area , Qus City , Upper Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.02.016>
- Adeyeye, O. A., Ikpokonte, E. A., & Arabi, S. A. (2019). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences GIS-based groundwater potential mapping within Dengi area , North Central Nigeria. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 22(2), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.003>
- Alam, J., Muzzammil, M., Singh, H. P., & Gupta, P. (2015). Permeability of Stratified Soils for Flow Normal to Bedding Plane. *Aquatic Procedia*, 4, 660–667. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.085>
- Alcaide, D., & Santos, M. (2019). Mapping fecal pollution in rural groundwater supplies by means of artificial intelligence classifiers, 577(July). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124006>
- ANA. (2019). El agua en cifras | ANA web - Autoridad Nacional del Agua. Retrieved June 13, 2019, from <http://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Back, J. O., Rivett, M. O., Hinz, L. B., Mackay, N., Wanangwa, G. J., Phiri, O. L., ... Kalin, R. M. (2018). Science of the Total Environment Risk assessment to groundwater of pit latrine rural sanitation policy in developing country settings. *Science of the Total Environment*, 613–614, 592–610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.071>
- Calsín, K. V. (2016). Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de taparachi III de la ciudad de Juliaca. (Trabajo de Grado) Universidad Nacional del Altiplano, Facultad Ciencias Biologicas, Puno, Perú., 64. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303.pdf>.
- Calsina, M. R., & Guerra, C. E. (2017). Diseño de un sistema de tratamiento terciario de aguas residuales domesticas con Tecnología intermedia, en viviendas unifamiliares de la ciudad de Juliaca DESIGN OF A TERTIARY TREATMENT SYSTEM OF DOMESTIC RESIDUAL WATER WITH INTERMEDIATE TECHNOLOGY, IN UN, 1(1), 17.
- Conagua. (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: saneamiento básico. *México*, 57.
- Constantin, D., Peptenatu, D., Pintilii, R., Andronache, I., & Constantin, C.-. (2017). Analysis of the Relationship Between the Piezometric Level and Urban Development in the Emerging Bucharest City , Romania, 190, 627–631. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.389>
- Cruces, J., & Martínez, L. (2007). Modelos matemáticos en hidrogeología. *Master de Ingenieria Medioambiental*.



- Curo, M. (2017). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de pozos con fines de consumo humano dsitrito Huata, (Tesis de Grado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. *Facultad de Ciencias Biológicas*.
- Dey, N. C., Parvez, M., Dey, D., Saha, R., Ghose, L., Barua, M. K., ... Chowdhury, M. R. (2017). Microbial contamination of drinking water from risky tubewells situated in different hydrological regions of Bangladesh. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(3), 621–636. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.12.007>
- Diario correo. (2016). SEDA Juliaca: En la ciudad de los vientos, día mundial del agua | Diario correo. Retrieved June 14, 2019, from <https://diariocorreo.pe/peru/seda-juliaca-en-la-ciudad-de-los-vientos-100-mil-pobladores-no-tienen-agua-662083/>
- DIGESA/Ministerio de Salud, D. G. de S. A. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. (F. 2011 MINSA, Ed.), Lima, Perú. (1ra ed.). Lima.
- Digesa. (2017). Parámetros Organolépticos y Físico - Químico, Dirección General de Salud Ambiental, Digesa. Lima, Perú. Retrieved from [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf)
- DIGESA. (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación conservación y transporte almacenamiento y recepción de agua para consumo humano, RD N° 160-2015/DIGESA/SA. Lima, Perú.
- Dinama, L. (1996). Manual de procedimientos analíticos para agua y efluentes, Ministerio de Vivienda. *Dirección Nacional de Medio Ambiente. Montevideo, Uruguay*.
- Dzwaitiro, B., Hoko, Z., Love, D., & Guzha, E. (2006). Assessment of the impacts of pit latrines on groundwater quality in rural areas: A case study from Marondera district, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(15–16), 779–788. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.08.031>
- Elhakim, A. F. (2016). Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2631–2638. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.034>
- Engström, E. (2016). La aplicación de regresión espacial para evaluar los factores de riesgo de contaminación microbiológica de las fuentes de aguas subterráneas urbanas en Juba , Sudán del Sur. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1504-x>
- Engström, E., Balfors, B., Mörtberg, U., Thunvik, R., Gaily, T., & Mangold, M. (2015). Prevalence of microbiological contaminants in groundwater sources and risk factor assessment in Juba, South Sudan. *Science of the Total Environment*, 515–516, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.023>
- Ferrante, M., Santo, S., Letizia, S., Dimartino, A., & Copat, C. (2018). Science of the Total Environment Groundwater-based water wells characterization from Guinea Bissau ( Western Africa ): A risk evaluation for the local population, 620, 916–926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.176>

- Herrera, S., & Panta, L. F. (2018). Estudio de la influencia de la napa freática en el diseño del pavimento de la pista de aterrizaje del aeropuerto teniente Fap Jaime Montreuil Morales de la ciudad de Chimbote, usando el Software Faarfield. (Trabajo de Grado). *Universidad Nacional Del Santa, Facultad de Ingeniería, Chimbote, Perú.*
- Hoko, Z., Love, D., & Guzha, E. (2006). La evaluación de los impactos de las letrinas de pozo sobre calidad del agua subterránea en las zonas rurales : Un estudio de caso del distrito de Marondera , Zimbabwe, *31*, 779–788.
- INEI. (2018). Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico. *Perú*, 1–69. Retrieved from [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_y\\_saneamiento.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf)
- Kayembe, J. M., Thevenon, F., La, A., & Sivalingam, P. (2018). International Journal of Hygiene and High levels of faecal contamination in drinking groundwater and recreational water due to poor sanitation , in the sub-rural neighbourhoods of Kinshasa , Democratic Republic of the Congo, (November 2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.003>
- Knappett, P. S. K., Escamilla, V., Layton, A., McKay, L. D., Emch, M., Williams, D. E., ... van Geen, A. (2011). Impact of population and latrines on fecal contamination of ponds in rural Bangladesh. *Science of the Total Environment*, *409*(17), 3174–3182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.043>
- Leyva, M., & Espinoza, G. (2010). Protocolo de monitoreo de agua Sistema de Gestión de Calidad - NTP ISO/IEC 17025, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Lima Perú., 1–40.
- Lutterodt, G., Vossenbergh, J. Van De, Hoiting, Y., Kamara, A. K., Oduro-kwarteng, S., & Foppen, J. W. A. (2018). Microbial Groundwater Quality Status of Hand-Dug Wells and Boreholes in the Dodowa Area of Ghana, 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040730>
- Martínez, P. (2017). Does 91 % of the world ’ s population really have “ sustainable access to safe drinking water ”? access to safe drinking water ”? *International Journal of Water Resources Development*, *0627*(March), 1–20. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1298517>
- Martínez, P., Martín Loeches, M., García Castro, N., Solera, D., Díaz Alcaide, S., Montero, E., & García Rincón, J. (2017). A survey of domestic wells and pit latrines in rural settlements of Mali: Implications of on-site sanitation on the quality of water supplies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *220*(7), 1179–1189. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.08.001>
- Morales, R. (2014). Análisis de la calidad microbiológica de las aguas subterráneas de la zona de Huachipa - distrito de Lurigancho (Trabajo de grado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Biológicas, Lima, Perú.

- Moyo, N. A. G. (2013). An analysis of the chemical and microbiological quality of ground water from boreholes and shallow wells in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 66, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.06.003>
- Muzenda, F., Masocha, M., & Misi, S. N. (2019). Groundwater Quality Assessment Using a Water Quality Index and GIS: A Case of Ushewokunze Settlement, Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.02.011>
- Nayebare, J. G., Owor, M. M., C., C. L., & Taylor, R. G. (2019). WASH conditions in a small town in Uganda: how safe are on-site facilities, 1–15. <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.070>
- OMS. (2006). Guía para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud. Tercera edición., Vol. 1, pág. 7. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)
- OPS/CEPIS. (2003). Especificaciones técnicas para el diseño de letrinas de hoyo seco, Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. In *Organización mundial de la salud, Lima, Perú*.
- Ordoñez, J. (2011). Aguas Subterráneas — Acuíferos, (cartilla Técnica) Global water partnership south américa. 1r ed. Lima, Perú. *Sociedad Geografica de Lima.*, pág. 2-44. Retrieved from [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm\\_Files/Publicaciones/Varios/Aguas\\_Subterranas.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Aguas_Subterranas.pdf)
- Pacori, E. (2019). *Metodología y diseño de la investigación científica*. (Segunda, Ed.) (FFECAAT). Lima-Perú.
- Quiroz, J. V. (2006). Evaluación de la contaminación en el suelo y agua del sector la muyuna causada por los residuos sólidos producidos por la ciudad de tingo maría y el centro poblado de castillo grande, Leoncio prado Huánuco. (trabajo de grado) Universidad Nacional Agraria . *Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú*.
- Ramírez, E., Robles, E., & Ayala, R. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de zacatepec, Morelos, México. *Control*, 25(4), 247–255.
- Ravenscroft, P., Mahmud, Z. H., Islam, M. S., Hossain, A. K. M. Z., Zahid, A., Saha, G. C., ... Islam, M. S. (2017). The public health significance of latrines discharging to groundwater used for drinking. *Water Research*, 124, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.049>
- Ríos, S., Agudelo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano Pathogens and microbiological indicators of the quality of water for. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Romero, M. (2016). Metodología de la investigación -Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Julio 2016*, 3, 105–114.

- Saleh, G., Salem, A., Kazama, S., Komori, D., & Shahid, S. (2017). Optimum Abstraction of Groundwater for Sustaining Groundwater Level and Reducing Irrigation Cost. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1623-8>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la investigación*. (M.-H. / INTERAMERICANA, Ed.) (Sexta). México D.F.
- Semkuyu, D. J., & Pandey, V. P. (2016). Ciencia of the Total Environment, 556, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.021>
- Silva, R. de C. A. da, & Araujo, T. M. de. (2003). Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana ( BA ) Groundwater quality in urban areas of Feira de Santana , State of Bahia. *Health (San Francisco)*, 8, 1019–1028.
- Soriano, M. (2018). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo de humano, (Tesis de Grado) Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Cajamarca, Perú. *Ingeniería Ambiental*.
- Talalaj, I. A., & Biedka, P. (2016). Use of the landfill water pollution index ( LWPI ) for groundwater quality assessment near the landfill sites. *Environmental Science and Pollution Research*, 24601–24613. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7622-0>
- Thevenon, F., & La, A. (2018). Diario Internacional de Higiene y Salud Ambiental Los altos niveles de contaminación fecal en las aguas subterráneas potable y aguas de recreo debido a la falta de saneamiento , en los barrios sub-zonas rurales de Kinshasa , República Democrática del Cong, (xxxx), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.003>
- Valenzuela, M., Mondaca, M., Claret, M. A., Pérez, M., Lagos, C., & Oscar, B. P. &. (2009). *Assessment of the origin of microbiological contamination of groundwater at a rural watershed in Chile. Agrociencia* (Vol. 43). Colegio de Postgraduados. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952009000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Ventura, M. M. (2016). Calidad bacteriológica y físico química del agua subterránea en los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada del distrito de Moquegua, (Tesis de Grado) Universidad Nacional Jorge Bassadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Vilma, C. A., & Milagros, V. B. (2014). Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de pisac, coya, lamay y calca-Región Cusco. (trabajo de grado) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. *Facultad de Ciencias Biológicas. Cusco, Perú.*, pág.1-134.

## **ANEXOS**

Anexo 1

Reglamento DIGESA - LMP de parámetros microbiológicos

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 (*)

UFC = Unidad formadora de colonias

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

\*Ley N° 26842 - Ley General de Salud, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA

Art. 63°.-Indica que los parámetros de control obligatorio para la calidad de agua incluyen los coliformes totales y termotolerantes, como parámetros microbiológicos, además indica que en caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*.

Anexo 2

*Resultados del análisis de las distancias contiguas entre la letrina y los pozos de agua*

Ámbito de estudio	Puntos de monitoreo	Coordenadas			Distancia
		Este	Norte	Cota	
Urbanización San Isidro Ccacachi	P-1	382020	8291759	3824	17,20
	P-2	382198	8291686	3833	20,75
	P-3	382240	8291678	3830	14,30
	P-4	382353	8291546	3827	44,00
	P-5	382065	8291665	3823	20,00
	P-6	382138	8291644	3827	46,00
	P-7	382079	8291462	3829	23,40
	P-8	382313	8291529	3833	72,00
	P-9	382010	8291492	3827	15,60
	P-10	382132	8291381	3833	13,00
	P-11	381988	8291375	3831	8,20
	P-12	382118	8291339	3827	14,00
	P-13	381949	8291200	3837	34,00
	P-14	382103	8291254	3834	52,60
	P-15	382016	829155	3835	18,20

Anexo 3

*Resultados del análisis del nivel piezométrico*

Puntos de muestreo	Ámbito de estudio	Coordenadas			Profundidad	Nivel piezométrico
		Este	Norte	Cota		
P-1	Urbanización San Isidro Ccacachi	382020	8291759	3824	4,20	3819,80
P-2		382198	8291686	3833	4,60	3828,40
P-3		382240	8291678	3830	4,25	3825,75
P-4		382353	8291546	3827	4,60	3822,40
P-5		382065	8291665	3823	4,75	3818,25
P-6		382138	8291644	3827	4,15	3822,85
P-7		382079	8291462	3829	4,45	3824,55
P-8		382313	8291529	3833	3,90	3829,10
P-9		382010	8291492	3827	4,50	3822,50
P-10		382132	8291381	3833	4,30	3828,70
P-11		381988	8291375	3831	5,00	3826,00
P-12		382118	8291339	3827	4,05	3822,95
P-13		381949	8291200	3837	4,50	3832,50
P-14		382103	8291254	3834	4,50	3829,50
P-15		382016	829155	3835	4,60	3830,40

Anexo 4

Resultados del análisis de la tasa de infiltración

Ámbito de estudio	Puntos de monitoreo	Coordenadas			Tasa de infiltración
		Este	Norte	Cota	
Urbanización San Isidro Ccacachi	P-1	382020	8291759	3824	<b>2x10<sup>-3</sup></b>
	P-2	382198	8291686	3833	<b>4x10<sup>-3</sup></b>
	P-3	382240	8291678	3830	<b>4x10<sup>-3</sup></b>
	P-4	382353	8291546	3827	<b>1,33x10<sup>-3</sup></b>
	P-5	382065	8291665	3823	<b>1,16x10<sup>-3</sup></b>
	P-6	382138	8291644	3827	<b>1,3310<sup>-3</sup></b>
	P-7	382079	8291462	3829	<b>2x10<sup>-3</sup></b>
	P-8	382313	8291529	3833	<b>8,33x10<sup>-4</sup></b>
	P-9	382010	8291492	3827	<b>1,16x10<sup>-3</sup></b>
	P-10	382132	8291381	3833	<b>6x10<sup>-3</sup></b>
	P-11	381988	8291375	3831	<b>6x10<sup>-3</sup></b>
	P-12	382118	8291339	3827	<b>5,83 x10<sup>-3</sup></b>
	P-13	381949	8291200	3837	<b>1,66 x10<sup>-3</sup></b>
	P-14	382103	8291254	3834	<b>1,5x10<sup>-3</sup></b>
	P-15	382016	829155	3835	<b>8,33 x10<sup>-4</sup></b>

Anexo 5

Resultados del análisis de parámetros microbiológicos

Sector	Puntos de muestreo	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
		UFC/100 mL	UFC/100 mL
		LMP: 0 UFC/100 mL a 35 °C	LMP: 0 UFC/100 mL a 44,5°C
Urbanización San Isidro Ccacachi	1	230	20
	2	250	25
	3	300	30
	4	50	40
	5	450	15
	6	55	10
	7	40	15
	8	30	5
	9	50	10
	10	1000	110
	11	1250	50
	12	425	225
	13	60	30
	14	60	20
	15	40	10



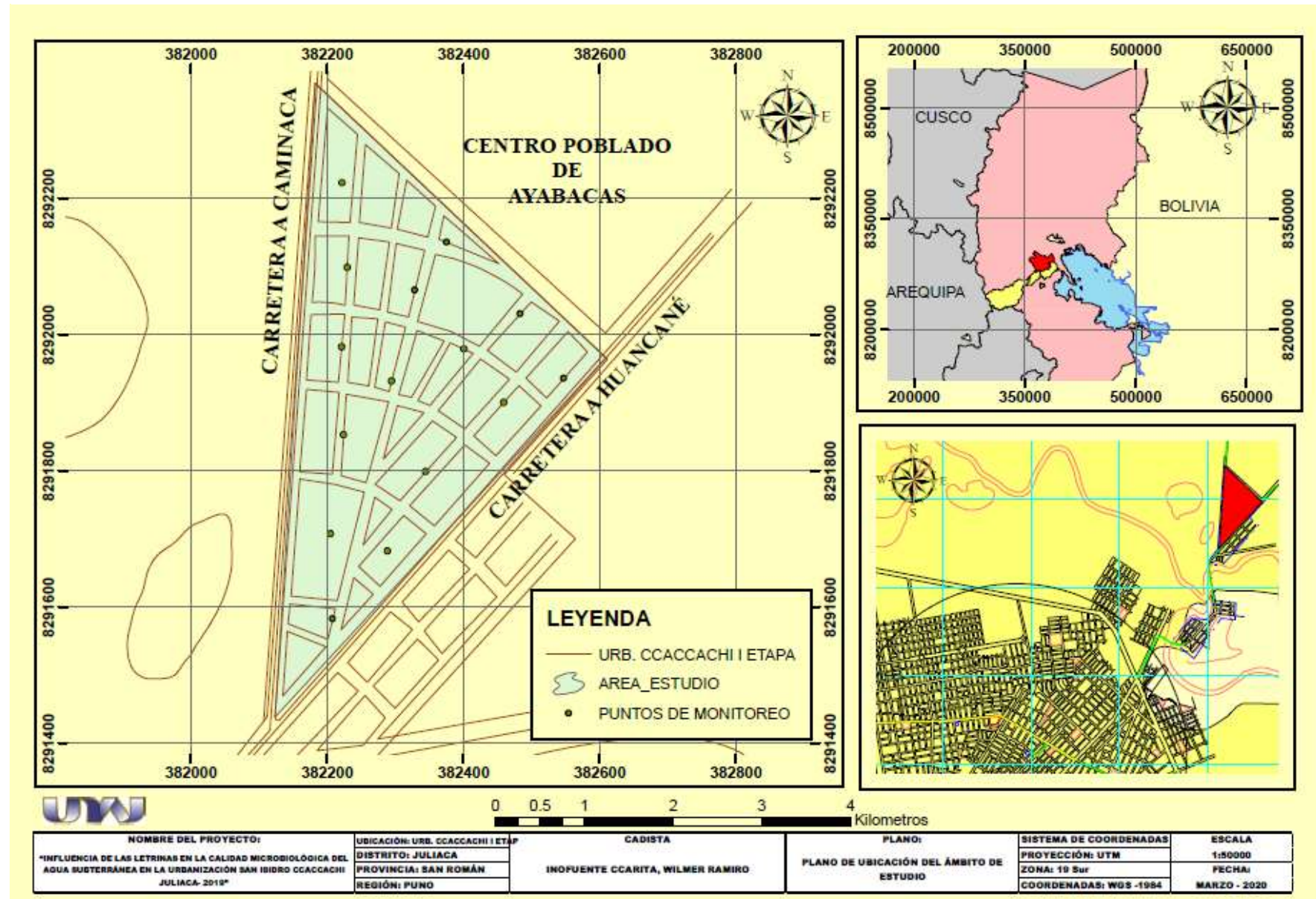
Fuente: Laboratorio Sedajuliaca

Anexo 6

*Análisis de parámetros fisicoquímico*

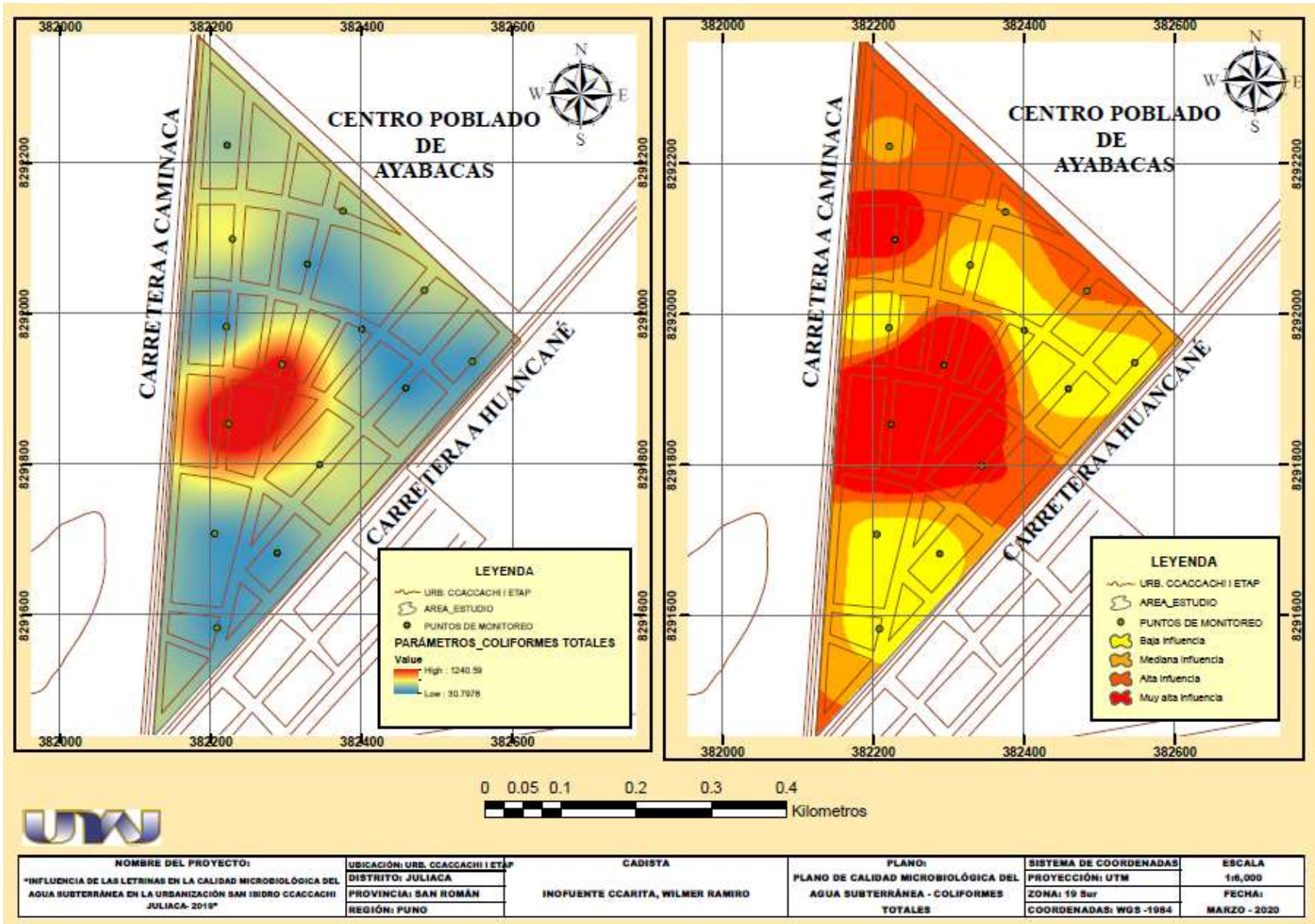
Puntos de muestreo	Ámbito de estudio	Coordenadas			pH	T °C	STD	Conductividad eléctrica
		Este	Norte	Cota				
P-1	Urbanización San Isidro Ccacachi	382020	8291759	3824	7,5	15,0	380	790
P-2		382198	8291686	3833	8,0	15,0	1150	2290
P-3		382240	8291678	3830	8,2	15,1	910	1830
P-4		382353	8291546	3827	8,9	14,0	1110	2230
P-5		382065	8291665	3823	8,1	14,9	490	1010
P-6		382138	8291644	3827	7,7	14,1	810	1630
P-7		382079	8291462	3829	7,6	16,6	1280	2560
P-8		382313	8291529	3833	7,7	17,2	970	1930
P-9		382010	8291492	3827	7,7	16,3	890	1780
P-10		382132	8291381	3833	8,2	16,9	960	1930
P-11		381988	8291375	3831	7,7	14,8	1060	2130
P-12		382118	8291339	3827	7,8	15,1	760	1520
P-13		381949	8291200	3837	8,0	16,2	720	1450
P-14		382103	8291254	3834	7,7	15,8	570	1160
P-15		382016	829155	3835	7,7	16,1	580	1160

Anexo 7  
 Plano de ubicación del ámbito de estudio



Anexo 8

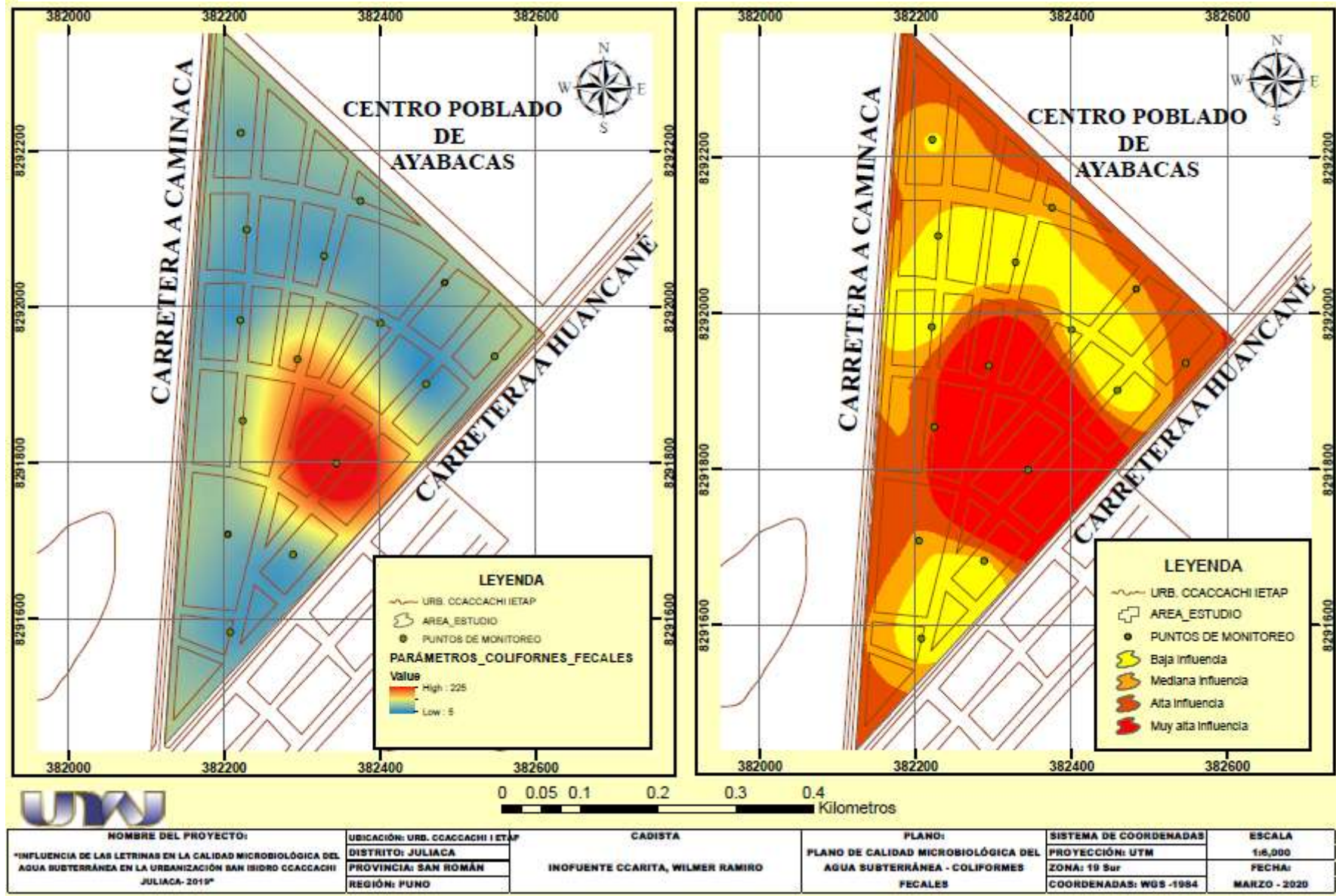
Plano de calidad microbiológica del agua subterránea – Coliformes Totales



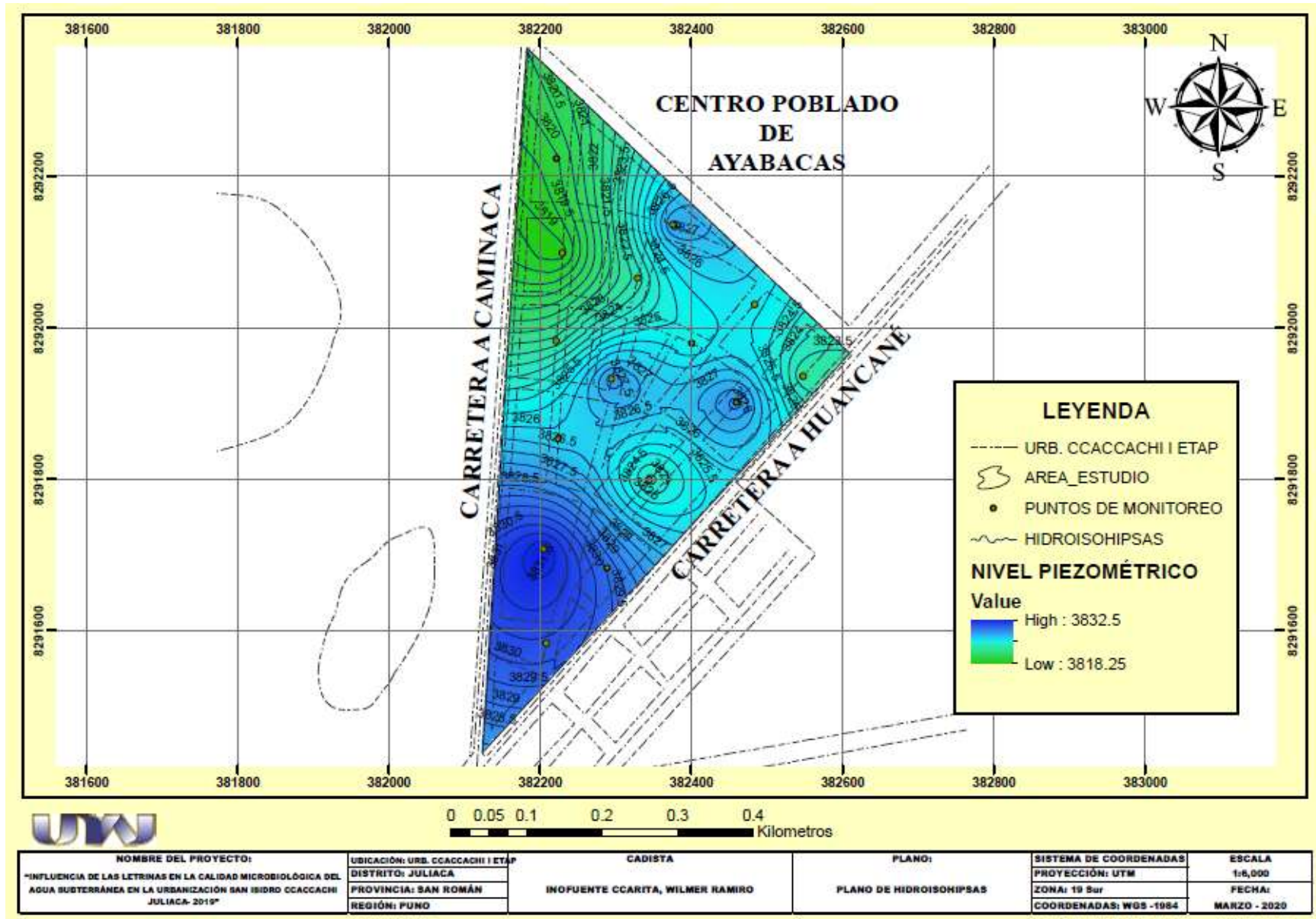


Anexo 9

Plano de calidad microbiológica del agua subterránea – Coliformes Fecales



Anexo 10  
 Plano de hidroisohipsas – nivel piezometrico





## GALERÍA FOTOGRÁFICA

Anexo 11

*Imagen. del ámbito de estudio*



Anexo 12

*Imagen de las evidencias de letrinas en la Urb. San Isidro Ccaccachi*



Anexo 13

*Imagen de esterilización de frascos y demás equipos para el muestreo*



Anexo 14

*Imagen frascos esterilizados para luego realizar trabajo de campo*



Anexo 15

*Imagen de caracterización de los factores externos a las letrinas – pozo de agua*



Anexo 16

*Imagen de registro y muestreo de la calidad de agua subterránea*





Anexo 17

*Imagen de trabajo de campo – estudio de suelos*



Anexo 18

*Imagen de análisis de suelo a través de la tasa de infiltración de agua*



Anexo 19

*Imagen de preparación de placas Petri debidamente rotuladas*



Anexo 20

*Imagen de preparación de medios de cultivo para los coliformes*



Anexo 21

*Imagen colocando el filtro de membrana al sistema de filtración*



Anexo 22

*Imagen de filtración con el equipo de generador del vacío*





Anexo 23

*Imagen de incubación y baño de maría para determinar los coliformes*



Anexo 24

*Imagen de recuento de bacterias con el contómetro*





REGIÓN DE PRODUCTIVIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME N° 051-19-CC

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**I. DATOS GENERALES**

ENTIDAD SOLICITANTE

WILBER RAMBO INDIENETE CCARITA  
Hótera Electroica: 8001-0000107  
Solidez de Servicio: N° 19-001-0011870

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO:

Región: Puno  
Provincia: San Román  
Distrito: San Miguel  
Lugar: Urbanización San Pedro Comanche I Etapa

	Hora de Muestreo	Hora de Muestreo	
Muestra N° 01	01:25 p.m.	Muestra N° 11	11:20 a.m.
Muestra N° 02	01:02 p.m.	Muestra N° 12	01:30 p.m.
Muestra N° 03	01:20 p.m.	Muestra N° 13	11:35 a.m.
Muestra N° 04	01:31 p.m.	Muestra N° 14	10:45 a.m.
Muestra N° 05	01:25 p.m.	Muestra N° 15	01:28 a.m.
Muestra N° 06	01:16 a.m.		
Muestra N° 07	01:50 a.m.		
Muestra N° 08	10:20 a.m.		
Muestra N° 09	10:50 a.m.		
Muestra N° 10	10:31 a.m.		

TIPO DE AGUA: Agua de Puro  
FECHA DE MUESTREO: 19/11/2019  
MUESTREADO POR: Interesaño  
FECHA DE ANALISIS: 19-20-11-2019

**II. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04	Muestra N° 05
Coliformos Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	250	250	300	50	450
Coliformos Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	20	25	30	40	15

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 06	Muestra N° 07	Muestra N° 08	Muestra N° 09	Muestra N° 10
Coliformos Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	55	40	30	50	1000
Coliformos Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	10	15	5	10	110

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 11	Muestra N° 12	Muestra N° 13	Muestra N° 14	Muestra N° 15
Coliformos Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1250	425	60	60	40
Coliformos Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	70	225	30	20	30

UFC/100ml = Unidades Formadoras de Colonias en 100 ml de muestra de agua filtrada.

Silva, Noviembre 2019



Anexo 26

Resultados de laboratorio EPS SEDA JULIACA (b)



DIVISIÓN DE PRODUCCIÓN, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD

INFORME N° 042 – 20 – CC

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### I. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE: WILMER RAMIRO INOFUENTE CCARITA  
Solicitud de Servicios: N° 20-002-00001732

LOCALIZACIÓN Y/O PUNTO DE MUESTREO: Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : San Miguel  
Lugar : Urb. San isidro Ccaccachi II Etapa

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo  
NÚMERO DE MUESTRA : 15 muestras  
FECHA DE MUESTREO : 18/11/20  
MUESTREO POR : Interesado  
FECHA DE ANÁLISIS : 18-19/11/20

### II. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03	Muestra N° 04	Muestra N° 05
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	25	20	30	40	10

PARÁMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 06	Muestra N° 07	Muestra N° 08	Muestra N° 09	Muestra N° 10
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	10	15	10	5	100

PARÁMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS				
			Muestra N° 11	Muestra N° 12	Muestra N° 13	Muestra N° 14	Muestra N° 15
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	60	150	40	15	5

UFC = Unidad formadora de colonias en 100 ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Noviembre 2020

**EPS. SEDA JULIACA**

*N. Guerra Diaz*  
Ing. Nancy Carmen Guerra Diaz  
CIP. N° 88664  
División de Producción, Calidad y Medio Ambiente



## CONSTANCIA

SEÑORES:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA – UNAJ

### CERTIFICAMOS EN TRABAJO DE CAMPO

Del Sr. Wilmer Ramiro Inofuente Carita con DNI N° 45239106, quien realizo trabajo de campo conjuntamente con nuestro personal de la empresa HYDRALT S.R.L. dedicado al rubro de asesoramiento y proveedor de equipamiento para tratamiento de aguas.

Trabajo de campo realizado:

- Toma de muestra en 15 puntos de monitoreo.
- Metreado de pozo a letrina más cercano.
- Medición en sitio de los parámetros (PH, conductividad, STD, T°)

Se expide el presente documento para fines que el interesado crea conveniente.

Juliaca, 27 de noviembre del 2020

Jefe departamento técnico.

Ing. Julio Rodríguez

HYDRALT S.R.L.  
INGENIERIA DEL AGUA

Ing. JULIO C. RODRIGUEZ MANCHA  
CIP. N° 228918





## CERTIFICADO DE ANÁLISIS

**ASUNTO** : Análisis fisicoquímico de Agua para consumo Humano

**Procedencia** : Agua de pozo – Urb. San Isidro Caccachi - Juliaca

**Interesado** : Sr. Wilmer Ramiro Inofuente Carita

**Motivo** : Análisis de Agua

**Muestreo** : 09:00 Hrs a 11:30 Hrs del 19/11/2019

**Cod. Muestra** : N°0080-1-2019

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-1**

PH	:	7.5	
Temperatura	:	15.0	°C
Conductividad Eléctrica	:	750	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	380	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-2**

PH	:	8.0	
Temperatura	:	15.0	°C
Conductividad Eléctrica	:	2290	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	1150	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-3**

PH	:	8.2	
Temperatura	:	15.1	°C
Conductividad Eléctrica	:	1830	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	910	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-4**

PH	:	8.9	
Temperatura	:	14.0	°C
Conductividad Eléctrica	:	2730	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	1110	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-5**

PH	:	8.1	
Temperatura	:	14.8	°C
Conductividad Eléctrica	:	1010	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	490	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-6**

PH	:	7.7	
Temperatura	:	14.1	°C
Conductividad Eléctrica	:	1630	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	810	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-7**

PH	:	7.8	
Temperatura	:	16.6	°C
Conductividad Eléctrica	:	2560	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	1280	mg/l

**CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS MUESTRA P-8**

PH	:	7.7	
Temperatura	:	17.2	°C
Conductividad Eléctrica	:	1930	µs/cm
Sólidos Totales Disueltos	:	970	mg/l

HYDRALT S. R. L.  
INGENIERIA DEL AGUA

*[Firma]*

Ing. JUAN E. RODRIGUEZ MENDOZA  
CIP. N° 228915





## CERTIFICADO DE ANÁLISIS

**ASUNTO** : Análisis fisicoquímico de Agua para consumo Humano

**Procedencia** : Agua de pozo – Urb. San Isidro Ccaccachi - Juliaca

**Interesado** : Sr. Wilmer Ramiro Inofuente Carita

**Motivo** : Análisis de Agua

**Muestreo** : 09:00 Hrs a 11:30 Hrs del 19/11/2019

**Cod. Muestra** : N°0080-2-2019

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-9**

PH : 7.7  
 Temperatura : 16.3 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1780 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 890 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-10**

PH : 8.2  
 Temperatura : 16.9 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1930 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 960 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-11**

PH : 7.7  
 Temperatura : 14.8 °C  
 Conductividad Eléctrica : 2190 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 1060 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-12**

PH : 7.8  
 Temperatura : 15.1 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1520 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 760 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-13**

PH : 8.0  
 Temperatura : 16.2 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1450 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 720 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-14**

PH : 7.7  
 Temperatura : 15.8 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1160 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 570 mg/l

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MUESTRA P-15**

PH : 7.7  
 Temperatura : 16.1 °C  
 Conductividad Eléctrica : 1160 µs/cm  
 Sólidos Totales Disueltos : 580 mg/l

Juliaca – Puno 19 de noviembre del 2019  
 V°B°

HYDRALT S. R. L.  
 INGENIERIA DEL AGUA  
  
 Ing. JULIO C. RODRÍGUEZ MANCHA  
 C.P. N° 229818