

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Determinación de concentraciones de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, Lima en el periodo 2017-2018

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR

Jeanpeare Raúl Márquez Ignacio

ASESORA

Heidi Isabel Sánchez Torres

Huaura, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos del autor**

Nombres	Jeanpeare Raúl
Apellidos	Márquez Ignacio
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	72218603
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	Heidi Isabel
Apellidos	Sánchez Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	40484791
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0001-5876-6920

Datos del Jurado**Datos del presidente del jurado**

Nombres	Fredy Román
Apellidos	Paredes Aguirre
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	15859960

Datos del segundo miembro

Nombres	Elvira Teófila
Apellidos	Castañeda Chirre
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	15744138

Datos del tercer miembro

Nombres	Eskim Santiago
Apellidos	Valverde Obregón
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	45441025

Datos de la obra

Materia*	Agua subterránea, arsénico, Végueta, agua de pozo.
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	URI https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.11
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Ambiental
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Ambiental
Código del programa Consultar el listado: enlace	521066

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 012 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:00 a. m. del día 19 de marzo de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Fredy Román Paredes Aguirre | presidente |
| 2. Elvira Teófila Castañeda Chirre | primer miembro |
| 3. Eskim Santiago Valverde Obregón | segundo miembro |
| 4. Heidi Isabel Sánchez Torres | asesora |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Determinación de concentraciones de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, Lima en el periodo 2017-2018** que presentan el bachiller en Ciencias Ambientales, **Jeanpeare Raúl Márquez Ignacio** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

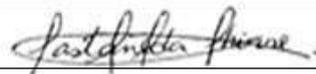
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO** de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 19 de marzo de 2022.



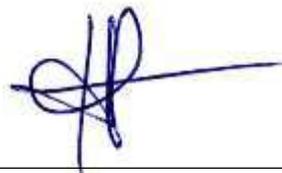
Fredy Román Paredes Aguirre
PRESIDENTE



Elvira Teófila Castañeda Chirre
1° MIEMBRO



Eskim Santiago Valverde Obregón
2° MIEMBRO



Heidi Isabel Sánchez Torres
ASESORA

Dedicatoria

Agradezco a Dios, por haberme dado la vida y una familia extraordinaria; quienes siempre confiaron en mí y me brindaron ejemplos de humildad y vocación de servicio.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Raúl Márquez Alvarado y Liliana Ignacio Ortiz, por el apoyo incondicional que siempre me otorgan para cumplir todas las metas trazadas en mi vida. Asimismo, agradezco a mis hermanos, porque sé que ellos me apoyarán cada vez que necesite de su ayuda.

Mi reconocimiento para la Mg. Heidi Sánchez Torres, quien ha guiado la ejecución de la presente investigación, con solidez técnica y científica por la amplia experiencia con las que cuenta. De igual forma, mi gratitud para el Blgo. Armando Chiclla Salazar, quien contribuyó de manera oportuna con los aspectos logísticos y técnicos de laboratorio durante el desarrollo de la investigación.

A mis amigos Kenji Takahashi Sánchez y Rhoydi Quiroz Santos, por su apoyo incondicional y amistad brindada en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE APÉNDICE	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Bases teóricas especializadas	10
1.2.1 Arsénico	10
1.2.2 Minería en la Unidad Hidrográfica Río Huaura	18
1.2.3 Aguas subterráneas	19
1.2.4 Distrito de Végueta	24
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1. Diseño de la investigación	26
2.2. Lugar y fecha	26
2.3. Población y muestra	26
2.3.1. Población	26
2.3.2. Muestra	27
2.4. Descripción de la investigación	30
2.4.1. Muestras de agua extraídas de los pozos estudiados	30
2.4.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos	31
2.4.3. Método de extracción de arsénico	31
2.4.4. Entrevista a los pobladores sobre el uso de los pozos	31
2.5. Identificación de variable y su mensuración	32
2.6. Análisis de datos	34
2.7. Materiales y equipos	34
2.7.1. Materiales de laboratorio	34
2.7.2. Reactivos	34
2.7.3. Equipos de laboratorio	34

CAPÍTULO III: RESULTADOS	36
3.1. Resultados de la caracterización físico química de las muestras de agua subterránea en los periodos de diciembre (2017) y junio (2018)	36
3.1.1. Valores de pH obtenidos de las muestras de agua subterránea	36
3.1.2. Valores de temperaturas obtenidas de las muestras de agua subterránea.....	38
3.1.4. Valores de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras de agua subterránea	42
3.1.5. Valores de dureza total obtenidos de las muestras de agua subterránea	44
3.1.6. Valores de amoniaco obtenidos de las muestras de agua subterránea	46
3.2. Variación temporal de la presencia de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018.....	48
3.3. Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta-Huaura	51
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	55
4.1. Caracterización físico química de las muestras de agua subterránea en los periodos de diciembre (2017) y junio (2018)	55
4.2. Variación temporal de la presencia de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018.....	58
4.3. Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta-Huaura.....	59
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	61
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS.....	64
TERMINOLOGÍA	73
APÉNDICES	79

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Puntos de muestreo con las ubicaciones de las pozas para la extracción del agua en los dos periodos</i>	29
Tabla 2. <i>Periodo estacional de muestreo para la obtención de agua subterránea</i>	30
Tabla 3. <i>Variable en estudio, unidades de medida y método de análisis de los parámetros fisicoquímico del agua</i>	33
Tabla 4. <i>Promedio de los valores de pH obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio) (Promedio \pm desviación estándar)</i>	37
Tabla 5. <i>Valores de temperaturas obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)</i>	39
Tabla 6. <i>Valores de la conductividad eléctrica obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)</i>	42
Tabla 7. <i>Valores de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)</i>	44
Tabla 8. <i>Valores de dureza total obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)</i>	46
Tabla 9. <i>Valores de amoníaco obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)</i>	48
Tabla 10. <i>Variación temporal de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta- Huaura, Lima</i>	50
Tabla 11. <i>Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta 2017-2018</i>	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Ciclo del arsénico	13
<i>Figura 2.</i> Biotransformación del arsénico en sistemas acuáticos	14
<i>Figura 3.</i> Pasivos ambientales mineros en la Unidad Hidrográfica por tipo, hasta junio de 2021	19
<i>Figura 4.</i> Modelo hidrogeológico de las Albuferas de Medio Mundo contaminación de aguas subterráneas	25
<i>Figura 5.</i> Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el distrito de Végueta	28
<i>Figura 6.</i> Valores de pH en los puntos de muestreo y los rangos establecidos por el reglamento de calidad de agua para consumo humano	38
<i>Figura 7.</i> Valores de temperatura del agua en los puntos de muestreo	40
<i>Figura 8.</i> Valores de Conductividad eléctrica del agua en los puntos de muestreo	41
<i>Figura 9.</i> Valores de oxígeno disuelto del agua en los puntos de muestreo	43
<i>Figura 10.</i> Valores de dureza total del agua en los puntos de muestreo	45
<i>Figura 11.</i> Valores de amoníaco del agua en los puntos de muestreo	47
<i>Figura 12.</i> Valores de arsénico del agua en los puntos de muestreo	49
<i>Figura 13.</i> Actividades en las que se emplea el agua de los pozos del distrito de Végueta 2017-2018	53
<i>Figura 14.</i> Análisis in situ de las muestras de agua subterráneas extraídas de los pozos subterráneos	82
<i>Figura 15.</i> Toma de las muestras de los pozos subterráneos	82
<i>Figura 16.</i> Análisis de Arsénico en el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la UCSS	83
<i>Figura 17.</i> Primeros resultados de la determinación cuantitativa de Arsénico en las muestras de agua subterránea	83
<i>Figura 18.</i> Análisis de otros parámetros fisicoquímicos a las muestras de agua subterránea	84

ÍNDICE DE APÉNDICE

	Pág.
Apéndice 1. Análisis de varianzas (ANOVA) para pH	78
Apéndice 2. Análisis de Varianza (ANOVA) para temperatura	78
Apéndice 3. Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de conductividad	78
Apéndice 4. Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de oxígeno disuelto	78
Apéndice 5. Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de dureza total	79
Apéndice 6. Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de Amoniac	79
Apéndice 7. Resultado de la prueba de Mann-Whitney a los valores obtenidos de arsénico en las dos temporadas	79
Apéndice 8. Resultados de las correlaciones de Pearson a las variables cuantitativas	80
Apéndice 9. Encuesta de consumo de aguas subterráneas en la localidad de Végueta-Huaura	81
Apéndice 10. Registro fotográfico	82
Apéndice 11. Cadena de custodia: diciembre, 2017	85
Apéndice 12. Cadenada de custodia: junio, 2018.	87

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta, en la provincia de Huaura - Lima, en el periodo 2017-2018. Para ello, basándose en un diseño no experimental, se estudiaron 21 pozos de extracción de agua subterránea, donde se determinaron las concentraciones/medidas de arsénico, dureza total, amoníaco, temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. El muestreo de agua fue realizado en los meses de diciembre (2017) y junio (2018) correspondientes a las estaciones de verano e invierno, respectivamente. Las cuantificaciones de arsénico, dureza total y amoníaco se realizaron mediante el método de fotometría, haciendo uso del fotómetro pHotoflex WTW®; el pH, con el potenciómetro; oxígeno disuelto, con el multiparámetro y; la conductividad eléctrica, con el conductímetro. Por otro lado, se entrevistaron a los pobladores sobre el uso de las aguas de los pozos. Los resultados mostraron que las concentraciones de arsénico en todos los pozos estudiados superaron lo establecido en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA); mientras que el pH (6,56-8,45), dureza total (30-161 mg.L⁻¹) y amoníaco (0,001-0,4 mg.L⁻¹) estuvieron dentro de los rangos permisibles. Del mismo modo, la conductividad eléctrica presentó valores por debajo de lo establecido en esta normativa, excepto en el pozo comunal de Ruquia (1520 mg.L⁻¹). Se concluye que en el 100 % de los pozos estudiados, el arsénico ha superado el límite aceptable y como tal, considerando que un 61,0 % de estos son utilizados como fuente de agua para consumo humano, representa un peligro inminente para la salud de las personas.

Palabras clave: Agua subterránea, arsénico, Végueta, agua de pozo.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the concentrations of arsenic in groundwater in the district of Végueta, in the province of Huaura - Lima, in the period 2017-2018. For this, in an extremely non-experimental design, 21 groundwater extraction wells were studied, where the concentrations/measurements of arsenic, total hardness, ammonia, temperature, hydrogen potential, dissolved oxygen and electrical conductivity were determined. The water demonstration was carried out in the months of December (2017) and June (2018) corresponding to the summer and winter seasons, respectively. The quantifications of arsenic, total hardness and ammonia were carried out using the photometric method, using the pHotoflex WTW® photometer; the pH, with the potentiometer; dissolved oxygen, with the multiparameter and; electrical conductivity, with the conductivity meter. On the other hand, the inhabitants were interviewed about the use of the water from the wells. The results showed that the concentrations of arsenic in all the wells studied exceeded what is established in the Regulation of Quality of Water for Human Consumption (D.S. N° 031-2010-SA); while the pH (6.56-8.45), total hardness (30-161 mg.L⁻¹) and ammonia (0.001-0.4 mg.L⁻¹) were within the permissible ranges. In the same way, the electrical conductivity presented values below what is established in this regulation, except in the communal well of Ruquia (1520 mg.L⁻¹). It is concluded that in 100 % of the wells studied, arsenic has exceeded the acceptable limit and as such, considering that 61.90 % of these are used as a source of water for human consumption, it represents an imminent danger to the health of people.

Keywords: Groundwater, arsenic, Vegueta, well water.

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento tóxico inorgánico que se encuentra en toda la naturaleza, donde es hallado en cantidades variables, cuya interacción con los diferentes elementos depende de los diversos procesos que implican a organismos vivos y a componentes abióticos. Este elemento, en su forma natural, es considerado como una de las diez sustancias químicas más preocupantes para la Organización Mundial de la Salud [OMS] (Larios *et al.*, 2015). Su amplia distribución permite obtenerlo en altas concentraciones en cuerpos de agua, suelos y muchos cultivos agrícolas en todo el mundo, por lo que representa una amenaza potencial y significativa para la salud de muchos organismos vivos, en especial para el hombre.

La contaminación de arsénico, principalmente, es detectada en aguas superficiales, siendo la forma más directa de contaminación por este metaloide; dado que este tipo de agua es usada para consumo. Sin embargo, se ha podido determinar altas concentraciones en aguas subterráneas, en localidades que usan este recurso vital como fuente principal de abastecimiento (Smedley y Kinninbuerg, 2002, citado por Paredes, 2012). En países de todas las regiones del mundo, y en especial de América se han identificado acuíferos con aguas que contienen altas concentraciones de arsénico; razón por el cual, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA] consideró reducir de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ en el año 2001 (Carabantes y Fernicola, 2003). En nuestro país el límite permisible para este elemento es de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, el cual ha sido establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA).

Los problemas de arsénico en el Perú afectan a muchas regiones, habiendo reportes de contaminación de aguas con este metaloide en localidades de la costa norte y sur, que se abastecen de efluentes que nacen de la cordillera de los Andes. Así tenemos a las regiones de La Libertad, Ancash por el norte y Arequipa, Tacna y Puno por el sur (Romero *et al.*, 2010; Apaza y Calcina, 2014). En el Perú se han desarrollado investigaciones para determinar las concentraciones de arsénico en aguas superficiales y de pozo, reportándose valores superiores a la norma vigente (Infante y Palomino, 1994).

En Perú, la geoquímica del país y la presencia de actividad minera hace que la probabilidad de la presencia de arsénico en algunas regiones sea muy alta por lo que se hace necesario el monitoreo de los efluentes de agua de dichas regiones (Larios *et al.*, 2015). Las investigaciones que reportan las concentraciones de arsénico son escasas, haciéndose necesarios estudios que contemplen el muestreo de todas las regiones.

Un caso muy singular se presenta en la región Lima y en especial el distrito de Végueta, perteneciente a la provincia de Huaura, en donde se observa una alta contaminación de las aguas superficiales en diferentes zonas rurales, debido a la aplicación indiscriminada y no técnica de plaguicidas y fertilizantes, por lechos minerales rocosos y por el descontrol en el manejo y cuidado de los pozos, que están bajo el control de la comunidad, y que su uso es doméstico, agrícola, pecuario e industrial (Peña *et al.*, 2019).

En los últimos quince años se ha observado un crecimiento poblacional exponencial e industrial en el distrito de Végueta, lo que trae como consecuencia una alta demanda del agua, llevando a la necesidad de mejorar las condiciones y formas de captación del agua y la oferta de esta, así como su calidad. Se ha determinado en el censo del 2017 que la población de Végueta se abastece de agua de pozo, en un tres por ciento aproximadamente (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017), esto podría llevar a una población de 27 228 personas expuestas al riesgo ambiental por contaminantes.

El poco conocimiento que se tiene de la presencia de arsénico en aguas subterráneas de esta zona costera de Lima ha influido a que no se tengan estrategias para mejorar la calidad del agua y proveerla libre de contaminantes para diversos usos, principalmente para el consumo humano; así como, de no poder alertar a la población sobre los efectos que este produce en la salud. Por lo anterior, fue necesario estudiar las características fisicoquímicas y las concentraciones de arsénico en los pozos de extracción de agua subterránea en el distrito de Végueta-Huaura.

Para ello, la presente investigación ha sido dividida en seis capítulos. En el primero, se presentan investigaciones relacionadas al problema y variables en estudio y, las bases teóricas especializadas sobre el arsénico, las interacciones del metaloide en el medio ambiente y las enfermedades que provocan en la salud humana; asimismo, se presenta la hidrogeología del distrito de Végueta y las fuentes de contaminación de las aguas tanto subterráneas como las superficiales. En el segundo Capítulo se expone la metodología utilizada para cumplir con los objetivos; mientras que en el tercero, cuarto y quinto se presentan los resultados, discusiones y conclusiones, respectivamente. Finalizando con las recomendaciones en el Capítulo sexto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, Lima, en el periodo 2017-2018.

Objetivos específicos

- Cuantificar las concentraciones/medidas de los parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, dureza total y amoníaco) de las muestras de agua subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018.
- Evaluar la variación temporal de la presencia de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018.
- Determinar el uso de las aguas subterráneas en el distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

a. Internacional

Solgi y Jalili (2021) zonificaron y evaluaron la contaminación por arsénico y nitrato en las aguas subterráneas de las áreas agrícolas en la Llanura Chahardoli de Qorveh, provincia de Kurdistán, Irán. Para ello, recolectaron 94 muestras de agua subterránea de pozos en áreas agrícolas y analizaron las concentraciones de arsénico (As) y nitrato (NO_3^-) mediante la técnica de espectrofotometría. Entre los principales resultados, mostraron que los nitratos variaron entre 3,20 y 428,00 mg.L^{-1} , con un valor medio de $152,95 \pm 115,49 \text{ mg.L}^{-1}$. La concentración de nitrato en el 73 % de las muestras excedió los límites aceptables de 50 mg.L^{-1} de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por otro lado, las concentraciones de arsénico variaron entre 0,39 y 220,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (media de 30,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$) y el 59 % de las muestras superó el recomendado por la OMS (10 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Concluyendo que las concentraciones reportadas pueden estar relacionadas a aspectos geológicos del área de estudio, además de la existencia de centros mineros.

Li *et al.* (2021) evaluaron los riesgos para la salud del arsénico de las aguas subterráneas en los residentes de la región rica en carbón, China. Para ello, recolectaron muestras de agua de 2712 pozos privados entre 2010 y 2019, donde determinaron las concentraciones de arsénico mediante la técnica espectrofotométrica de absorción atómica. Entre los principales resultados mostraron que la máxima concentración promedio registrada fue en el año 2011 (1,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$) y el mínimo, en 2018 (0,28 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Asimismo, indicaron que las concentraciones máximas estuvieron centradas en los alrededores de las áreas mineras, haciendo que los residentes cercanos a estas sean los más vulnerables a la exposición. Concluyendo que el estudio es útil para que los formuladores de políticas adopten un límite

más bajo para el arsénico en las aguas subterráneas para las regiones y grupos más afectados.

Machado *et al.* (2019) determinaron las concentraciones de arsénico total en aguas subterráneas destinadas al consumo humano en Uruguay. Para ello, analizaron 48 pozos a profundidades variables entre 30 y 50 metros. En el laboratorio, utilizaron el método espectrometría de absorción atómica electrotrémica para las determinaciones analíticas. Entre los principales resultados, mostraron que el arsénico varió entre 1.72–120.48 $\mu\text{g.L}^{-1}$, donde casi la mitad de las muestras presentaron concentraciones superiores a los recomendados por la OMS para agua potable (10 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Concluyendo que las concentraciones encontradas, responden a las condiciones oxidantes de los pozos y, por tanto, es fundamental determinar la correlación con otros parámetros inorgánicos para prevenir efectos en la salud pública a largo plazo.

Escalera y Ormachea (2017) realizaron análisis hidroquímico y de la calidad del agua en las zonas urbanas de Cochabamba, Bolivia; con la finalidad de establecer las interacciones y correlaciones del arsénico con cationes y aniones mayoritarios y otros elementos traza con el fin de determinar condiciones que faciliten o dificulten la viabilidad de diferentes procesos de remoción de As en las aguas estudiadas. Las muestras fueron recolectadas en los pozos de agua, a profundidades que superan los 30 m, que se encuentran distribuidos en 11 organizaciones territoriales de Base (OTBs) en los municipios de Colcapirhua y Cercado del valle bajo de Cochabamba, Bolivia. En total fueron 18 muestras recolectadas de los pozos. Luego de la caracterización hidroquímica, los resultados fueron evaluados con el *software* Aquachem, que permitió una mejor descripción de los parámetros estudiados; así como, para evaluar los resultados de los componentes químicos, físicos y tipos de agua. Los resultados mostraron una concentración máxima de 582 mg.L^{-1} de arsénico encontrado en el pozo número 13. La investigación mostró que el pozo número 14 no detectó la presencia de arsénico, a pesar que estaba cerca al pozo número 13; este comportamiento también ocurrió en el pozo número 9 con una concentración alta de arsénico disuelto de 199 mg.L^{-1} , y el pozo ubicado aproximadamente a 80 metros de distancia del pozo número 18 que presenta un valor menor por debajo del límite permitido. Los investigadores señalaron que fue común el comportamiento de los acuíferos una distribución heterogénea de las concentraciones arsénico en los pozos con profundidades mayor a 50 metros y poseen alta variabilidad

incluso en zonas muy pequeñas. Los análisis en otros elementos mostraron altas concentraciones en hierro con un valor máximo de $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ y en manganeso con un valor máximo de $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$, superando los valores permitidos de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ en hierro y manganeso.

Mendoza *et al.* (2017) estimaron los riesgos potenciales de salud debido a la ingesta del arsénico en aguas subterráneas en la localidad del estado de Colima, México. Las muestras de agua fueron colectadas en 36 pozos de 10 acuíferos de la localidad de Colima. La determinación de Arsénico fue realizada usando los estándares internacionales mediante el acoplamiento de cromatografía líquida con generación de hidruros (ICP-OES). Para estimar la ruta de exposición de consumo del metaloide en cada localidad implementaron un modelo de ponderación del inverso de la distancia, haciendo uso de un modelo de interpolación geoestadística a través del *software* ArcGIS. Asimismo, determinaron los coeficientes de peligro de exposición al metaloide (HQ) y el riesgo carcinogénico (R). Los resultados mostraron que de los 36 pozos analizados, 80,5 % presentaban arsénico en concentraciones mayores a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, valores superiores a lo permisible por la OMS y USEPA. Por otro lado, el valor promedio de HQ a nivel estatal fue 2,41 para este metaloide y el factor de riesgo de cáncer (R), $1,089\text{E}-03$. Los autores concluyeron que aproximadamente 446 personas de esta localidad estaban potencialmente en riesgo de presentar algún tipo de cáncer por consumo de agua con arsénico.

Mora *et al.* (2012) analizaron la presencia de arsénico total, coliformes totales y coliformes fecales en las aguas del Municipio de Tecuala, en el estado de Nayarit, México. El muestreo fue efectuado en noviembre del año 2009 y las muestras de aguas fueron recolectadas de tres pozos que abastecen a las comunidades de la Tecuala. Las concentraciones de arsénico determinaron con un espectrofotómetro de fluorescencia atómica *Millenium Excallibur* 10055, mientras que las concentraciones de los coliformes, con la técnica del Número Más Probable (NMP). Las muestras analizadas presentaron concentraciones de arsénico entre $7,42 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ y $19,82 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $15,82 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$. En el poblado de Atotonilco, las concentraciones registradas estuvieron comprendidas entre $17,83 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,02 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,88 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$; en Quimichis, entre $18,73 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,76 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $17,80 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$; en el poblado de Playas de Novillero, entre $19,36 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,79$

$\mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,79 \mu\text{g.L}^{-1}$ y, en Pajaritos, entre $18,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,02 \mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,88 \mu\text{g.L}^{-1}$. Las concentraciones encontradas del arsénico en los pozos estudiados, excedieron el límite máximo permisible de la OMS ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$); sin embargo, al ser comparadas con el estándar establecido en las Normas Oficiales Mexicanas ($25 \mu\text{g.L}^{-1}$), estas resultaron por debajo de este valor. Las aguas extraídas de los pozos 1 y 3 indicaron un 73 % de las muestras inoculadas en los tubos de ensayo, resultaron positivos para coliformes totales y fecales, mientras que 46,6 % arrojaron positivos para el pozo 2.

b. Nacionales

Vélez (2017) evaluó la calidad de agua subterránea en las zonas de La Laguna, 200 Millas, Santa Fe, Primavera y Mazo, en el distrito de Végueta, Lima. La metodología de la investigación consistió en recolectar muestras de agua de pozo (3 L), para luego ser trasladadas a un laboratorio certificado para la caracterización fisicoquímica y la determinación de las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo; además, del análisis de coliformes totales y fecales. Otros parámetros como sulfatos, nitratos y cloruros determinaron con un espectrofotómetro UV/Vis, un multiparámetro y turbidímetro, respectivamente. Los resultados mostraron que las concentraciones de cloruros sobrepasaban los límites máximos permisibles para consumo de agua; dando que obtuvo $606,01 \text{ mg.L}^{-1}$ en Santa Fe, $218\ 800 \text{ mg.L}^{-1}$ en La Laguna y $47\ 850 \text{ mg.L}^{-1}$ en Mazo. En cuanto a sulfatos, en Santa Fe registró $237,44 \text{ mg.L}^{-1}$, $219,0 \text{ mg.L}^{-1}$ en La Laguna, 105 mg.L^{-1} en Mazo y $5,43 \text{ mg.L}^{-1}$ en Primavera. Por otro lado, las concentraciones de cadmio y plomo estuvieron por debajo de lo permitido. Asimismo, el arsénico resultó $0,055 \text{ mg.L}^{-1}$ en Santa Fe, $0,013 \text{ mg.L}^{-1}$ en La Laguna, $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ en 200 Millas y $0,0257 \text{ mg.L}^{-1}$ en Mazo. Los análisis microbiológicos mostraron una contaminación por coliformes fecales de agua subterránea en las zonas de Santa Fe; mientras que los coliformes totales máximos fueron registrados en Mazo, seguido por Santa Fe, Primavera y 200 Millas.

George *et al.* (2014) cuantificaron las concentraciones de arsénico en el agua potable de diversas localidades donde se realizaron actividades mineras. Para ello, basándose en un diseño no experimental, los muestreos fueron realizados entre los meses de agosto y octubre del año 2012 a aguas superficiales y subterránea en los distritos de Achaya, Ananea, Caracoto, Chucuito, Crucero, Juliaca, La Oroya, Lima Platería, Puno, San Antón y Taraco.

Analizaron la concentración de arsénico en un total de 151 fuentes (40 muestras de agua superficial y 111 agua subterránea); las muestras de las aguas superficiales fueron recolectadas de ríos, manantiales y agua corriente municipal y para aguas subterránea procedieron a recolectarla del agua potable doméstica. Las concentraciones del metaloide determinaron utilizando el estándar de oro - análisis de espectrómetro de masas de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) - y 139 de estas fueron probadas utilizando el kit EQ (número de serie 481298). Para el análisis con el kit EQ, recolectaron muestras de agua en botellas de reacción de 50 ml, para la prueba, mientras que seleccionaron viales de centelleo de 20 ml para recolectar las muestras para el análisis ICP-MS. En el análisis estadístico utilizaron el software SAS versión 9.3. Los datos fueron Los resultados mostraron que el 77 % de las muestras sobrepasaron el límite máximo permisible de la OMS ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) y en el 41 % registraron concentraciones superiores a $50 \mu\text{g.L}^{-1}$. Asimismo, en los pozos estudiados dentro del distrito de Juliaca, las concentraciones de arsénico estuvieron comprendidos entre $1,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ y $193,1 \mu\text{g.L}^{-1}$; en el distrito de Caracoto, entre $31,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ y $113,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ y; en el distrito del río Rímac, entre $14,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ y $42,5 \mu\text{g.L}^{-1}$. Los investigadores concluyeron que las aguas subterráneas, destinadas para usos domésticos, principalmente de los distritos de Juliaca y Caracoto, se encontraban contaminadas por la elevada concentración de arsénico, siendo una amenaza potencial para la salud pública.

Apaza y Calcina (2014) evaluaron la calidad de las aguas de acuíferos de la zona de Huata y Carancas, en el departamento de Puno, Perú. Para ello, analizaron los parámetros fisicoquímicos en los pozos, para lo cual usaron un multiparámetro digital de la marca HANNA HI-8424. Los resultados mostraron que para la zona de Carancas los pozos alcanzaron la profundidad entre 30,00 m a 45,00 m, donde hubo 6 pozos que captaron aguas con una concentración entre 100 ppb hasta 500 ppb, y 2 captaciones estuvieron por debajo de la concentración de los estándares de agua aptas para consumo. Además, 7 de 12 pozos con la categoría de acuífero libre obtuvieron la concentración entre 10 ppb a 50 ppb. En la zona de Huata los pozos de profundidad entre 1,48 m y 12,00 m, de 21 pozos muestreados, 13 pozos presentaron la concentración de 10 ppb a 250 ppb, y los 8 pozos restantes resultaron por debajo de los estándares aceptables; además, los pozos presentaron un pH alcalino, pero en la localidad de Carancas al menos 2 pozos fue inferior al pH 7. Los autores concluyeron que la movilidad del arsénico en los cuerpos de agua analizados estuvo sujeta a condiciones

de oxidación y reducción de las aguas de los acuíferos, esto evidenciado por las concentraciones de oxígeno registradas.

Accostupa y Mamani (2012) cuantificaron las concentraciones de plomo, cadmio, cromo y arsénico en captaciones de aguas subterráneas para consumo humano a través de los análisis químicos, en la comunidad San Cristobal y Nueva Anta del distrito de Anta en Cuzco, Perú. La investigación fue realizada en los meses de mayo, junio y julio del año 2011, basado en diseño descriptivo. Para la recolección de las muestras fueron usados envases con volúmenes aproximados entre 2 L y 2,5 L, enjuagados previamente con ácido nítrico a 0,1 M. Los metales fueron analizados mediante el método espectrofotométrico de absorción atómica, cuyos resultados fueron procesados en el *software* SPSS v.18. Los resultados indicaron que la concentración media del plomo fue de $0,019 \pm 0,0002 \text{ mg.L}^{-1}$ y $0,04898333 \pm 0,001458595 \text{ mg.L}^{-1}$ en la comunidad de San Cristóbal y Nueva Anta, respectivamente. Estos resultados no sobrepasaron los rangos establecidos por la Norma Técnica Peruana ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) pero si excedieron a la concentración máxima establecida por la OMS ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$). La concentración media de cadmio resultó $0,0024 \pm 0,00007 \text{ mg.L}^{-1}$ en San Cristóbal y $0,002 \pm 0,0001 \text{ mg.L}^{-1}$ en Nueva Anta, encontrándose por debajo de lo permitido por la OMS. Por otro lado, la concentración media del cromo en San Cristóbal fue $0,0048 \pm 0,00007 \text{ mg.L}^{-1}$ y $0,00491111 \pm 0,000082074 \text{ mg.L}^{-1}$ en Nueva Anta, los cuales no exceden la concentración máxima por la Norma Técnica Peruana ni por la OMS ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$). Asimismo, la concentración media de arsénico en San Cristóbal fue $0,00098 \pm 0,000018 \text{ mg.L}^{-1}$ y $0,00085 \pm 0,000003 \text{ mg.L}^{-1}$ en Nueva Anta, encontrándose por debajo de lo permitido por la OMS ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$). Los autores concluyeron que las aguas que consumen estas comunidades, por sus características fisicoquímicas, resultaron aptas para el consumo humano.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1 Arsénico

a. Generalidades

Es un elemento natural ubicuo que se encuentra en la naturaleza en formas orgánicas e inorgánicas y esto va a depender de la ausencia o presencia de enlaces arsénico-carbono. Los efectos nocivos del arsénico están bien establecidos; sin embargo, la toxicidad depende de la forma (inorgánica u orgánica) y del estado de oxidación de los compuestos de arsénico. Su número atómico es 33 y su peso atómico es 74,9 (Tchounwou *et al.*, 1999).

b. Tipos de arsénico

El arsénico se clasifica como un metaloide, cuyo nombre “arsenicum” deriva de “colorante mineral” por su apariencia de forma y color. Presentan un carácter alotrópico al tener muchos estados de oxidación (+5, +3, 0, -3) siendo los más comunes las formas con valencia III y V (As^{3+} y As^{5+}). La mayoría de los datos de la literatura informan sobre arsénico total. La diferenciación entre arsénico total e inorgánico es importante porque algunos alimentos como el pescado y los mariscos presentan un alto contenido de arsénico total. Por el contrario, la concentración de arsénico inorgánico es alta en cultivos como el arroz y puede llegar al 90 % del contenido total. La concentración varía según el suelo dónde se cultivó el arroz y el tipo de arroz. Además, se ha observado que cuerpos de agua de muchos ecosistemas naturales de pH 5 a 9 predominan las formas arsenicales de $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$, HAsO_4^{-2} , H_3AsO_3 y $\text{H}_2\text{AsO}_3^{-1}$. La alta variabilidad de su estado de oxidación caracteriza a este elemento, mediado por reacciones químicas o biológicas que se dan comúnmente en el ambiente (Paredes, 2012).

El As, es usado para la fabricación de varios productos, utilizado en aleaciones con el propósito de aumentar la dureza y resistencia a temperaturas elevadas, principalmente en la fabricación de municiones y baterías. También son usados para fabricar algunos componentes electrónicos como los diodos de láser, diodos emisor de Luz (LED),

semiconductores; además, pueden ser encontrados en el sector agrícola, dentro de los pesticidas y herbicidas (Ramírez, 2013).

En la naturaleza el As es muy común y se encuentra ampliamente distribuido, ya sea en la atmósfera, suelos, rocas, en la hidrósfera y biosfera. Este elemento principalmente es hallado, en forma natural, en los minerales sulfurosos como realgar (AsS), orpimenta (As₂S₃) y arsenopirita (FeAsS), en este último se encuentra en mayor proporción que los otros minerales (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 1998; Bundschuh *et al.*, 2008). El As se divide en dos grupos:

Compuestos inorgánicos

El arsénico, en forma inorgánica entre sus estados de oxidación (+5 o +3), es la más abundante y comúnmente documentada en el medio ambiente (Peregrino, 2016). Los estados más usuales del elemento en las aguas subterráneas es el As trivalente (As⁺³); mientras que en aguas superficiales predomina el As pentavalente (As⁺⁵), este último es presentado principalmente como ácido arsénico (H₃AsO₄). As⁺³ se muestra como ácido arsenioso (H₃AsO₃), considerado como altamente tóxico (Alarcón *et al.*, 2012).

Los compuestos inorgánicos de este elemento suelen acaecer en el suelo naturalmente y en algunos tipos de rocas, por lo general en aquellos minerales que tienen plomo y cobre (Peregrino, 2016). Las empresas de fundición someten a los minerales a altas temperaturas en el horno, convirtiendo el arsénico en un polvo fino y expulsado hacia la atmósfera; o son recuperados en forma de trióxido de arsénico (As₂O₃) (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007).

Compuestos de arsénico orgánico

Los compuestos orgánicos conformados con el arsénico suelen aparecer en concentraciones menores que al inorgánico, y se le encuentra unido a un átomo por uniones covalentes. Este compuesto se halla en forma de trivalente o pentavalente. Los compuestos están ampliamente distribuidos por el suelo, atmósfera, sistemas acuáticos, sedimentos y tejidos

biológicos (Hasegawa *et al.*, 1999; Bundschuh *et al.*, 2008). En los organismos terrestres y marinos convierten el arsenito y el arsenato, por reacciones de metilación, en compuestos metilados, ocasionando toxicidad moderada en todos los organismos terrestres y acuáticos (Duker *et al.*, 2005).

c. Ciclo del arsénico

El arsénico es un elemento de origen natural en la corteza terrestre y se distribuye ampliamente en el medio ambiente. Todos los seres humanos están expuestos a cantidades de microgramos de arsénico, principalmente a partir de los alimentos (de 25 a 50 $\mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$) y, en menor medida, del agua potable y el aire. Algunos mariscos contienen concentraciones más altas de arsénico, predominantemente en formas orgánicas menos tóxicas. Los depósitos minerales naturales contienen grandes cantidades de arsénico en ciertas áreas geográficas, lo que puede dar como resultado niveles más altos de arsénico en el agua. Los sitios de eliminación de desechos químicos también pueden ser una fuente de contaminación por arsénico de los suministros de agua. La quema de combustibles fósiles también produce bajos niveles de emisiones de arsénico. El arsénico también se puede encontrar en niveles bajos en el humo del tabaco (Howd y Fan, 2007).

El Arsénico se distribuye ampliamente en el perfil del suelo como componente de minerales y se encuentra en cantidades nominales en todos los organismos. Como se puede encontrar como un compuesto de oxígeno, cloro, azufre, carbono, hidrógeno, plomo, mercurio, oro y hierro. Hay hasta 150 especies de minerales que contienen arsénico que existen en la tierra. Sin embargo, solo algunos de ellos se consideran minerales de arsénico porque la cantidad de arsénico es más alta en estos compuestos y también están más disponibles. Estos compuestos son: realgar o disulfuro de arsénico (AsS), orpimenta o trisulfuro de arsénico (As_2S_3) y arsenopirita o sulfuro de arsénico ferroso (FeAsS). La arsenopirita se ha identificado principalmente como la principal fuente de contaminación por arsénico en Bangladesh. El ciclo de arsénico en las interfaces suelo-agua-planta se presenta en la Figura 1 (Akinbile y Haque, 2012).

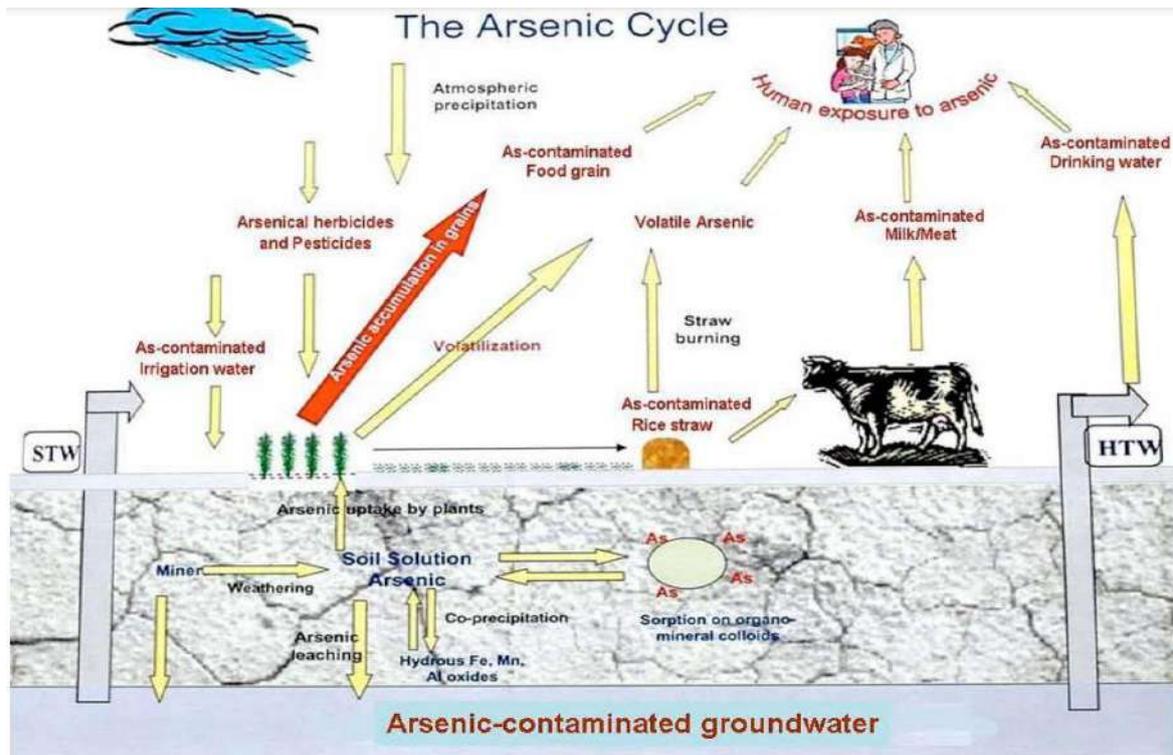


Figura 1. Ciclo del arsénico. Fuente: Akinbile y Haque (2012).

Los compuestos de arsénico en los alimentos pueden encontrarse en forma orgánica arsenicales como arsenibetaína, arsenoazúcares, sales de ácido trimetilarsónico, arsenicolina y lípidos con arsénico. Principalmente estos compuestos son hallados en seres acuáticos u organismos marinos, sin embargo, varios de ellos se han identificado en especies de aguas dulces y terrestres (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2008).

El arsénico tiene una fácil dispersión en el medio ambiente, el cual genera contaminación, y logra ser muy extendido en especial cuando este elemento penetra el agua, aire y suelo a través de tormentas de polvo y aguas de escorrentía (Gillispie *et al.*, 2015; Emsley, 2001). Para los seres humanos resulta ser muy grave la contaminación por arsénico, más aún si llega a las aguas subterráneas, ya que puede introducirse dentro de la cadena alimenticia y facilitar su distribución por todo el reino animal y vegetal (Rangel *et al.*, 2015).

Este elemento puede encontrarse tanto en aguas superficiales y subterráneas, pero es mucho más probable hallar el arsénico en aguas subterráneas (Sepúlveda, 2009). Una gran amenaza

para la salud pública para aquellos que ingieren de manera prolongada el agua contaminada de arsénico de fuentes subterráneas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006).

d. Bioacumulación y biomagnificación del arsénico

Los organismos vivos acumulan, retienen y transforman especies de arsénico dentro de sus cuerpos cuando se exponen a él a través de su dieta y otras rutas/fuentes como agua, suelo, partículas, entre otros (Figura 2). Por su parte, la biomagnificación del arsénico es un proceso por el cual las concentraciones de este elemento aumentan en los organismos de cada nivel trófico sucesivo debido a la exposición dietética secuencial (por ejemplo, concentraciones crecientes de algas, zooplancton, peces forrajeros, peces depredadores, entre otros) (Azizur *et al.*, 2012). Por lo tanto, no solo el agua contaminada sino también los espacios-ambientes u organismos que contienen arsénico pueden ser fuentes potenciales de exposición.

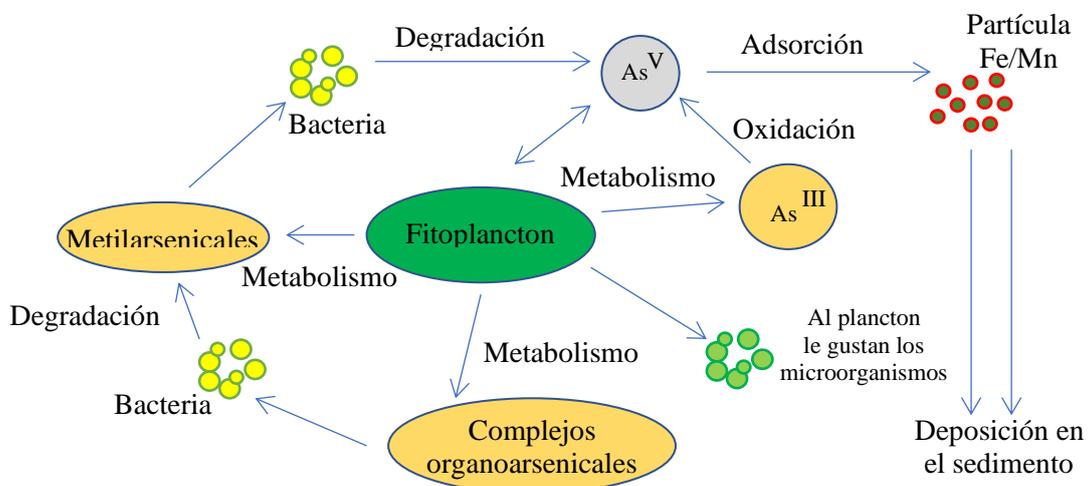


Figura 2. Biotransformación del arsénico en sistemas acuáticos. Fuente: Azizur *et al.* (2012).

e. Arsénico en la salud

El arsénico es considerado como uno de los metales tóxicos más prevalentes en el medio ambiente (Krumova *et al.*, 2008). Este elemento puede ocasionar intoxicaciones graves por la ingesta de agua y alimentos contaminados por el arsénico, además de ser carcinógeno (Biswas *et al.* 2021). Una de las características que favorece a la diseminación de este metaloide es su solubilidad en el agua, encontrándose altas concentraciones en cuerpos de agua cercanos a zonas industriales y principalmente en zonas mineras (Suárez *et al.*, 2004).

La toxicidad en los seres humanos por un compuesto arsenical tiene relación en su forma química. Los compuestos inorgánicos del arsénico como trióxido de arsénico (As_2O_3) o pentóxido de arsénico (As_2O_5) son muy tóxicos, a comparación de los compuestos orgánicos, y aparecen, sobre todo, en agua subterránea. El estado de oxidación, la velocidad de absorción, velocidad de eliminación, el tamaño de las partículas de polvo y la solubilidad en el medio biológico son factores que van a depender el grado de toxicidad (Basu *et al.*, 2014). Según la OMS (2008), la mayoría de los reportes de intoxicación por compuestos de arsénico es por la ingesta de agua de pozo que contienen concentraciones muy elevadas ($21,0 \text{ mg.L}^{-1}$).

Los efectos por la exposición o ingesta de arsénico van desde efectos crónicos hasta la letalidad aguda; con daños a diferentes sistemas y órganos de la persona, como en la piel, sistema cardiovascular, digestivo, inmunológico, renal, nervioso, reproductivo, endocrino, genitourinarias, eritropoyéticohepático y las vías respiratorias (Medina *et al.*, 2018).

Por lo general los efectos a corto plazo aparecen en la piel donde sufre cambios en la pigmentación y después lesiones cutáneas, dejando manchas duras en las manos y los pies, siendo precursor al cáncer de piel. El consumo de grandes dosis, en un tiempo de 30 a 60 minutos, la persona comienza a sentir disfagia, sabor metálico y sensación quemante en los labios; después, numerosos síntomas gastrointestinales, como, náuseas, cólicos, dolor abdominal, diarrea y vómitos. Estos síntomas como consecuencia conllevan al desequilibrio de electrolitos y deshidratación, y pueden causar hipoxia e hipotensión. Luego de estos síntomas, el paciente puede sufrir fallos múltiples de órganos, en especial en los sistemas renal, cardiovascular y hepático, causando la muerte (OMS, 2006; Medina *et al.*, 2018).

Son diversos los efectos a la salud humana por intoxicación crónica del arsénico, dañando a casi todos los órganos y sistemas. Pueden aparecer síntomas de fatiga, anemia, hipertensión, insuficiencia vascular periférica, leucopenia, gastroenteritis, elevación de las transaminasas, líneas de Mees-Aldrich, entre otros. La neuropatía periférica es uno de los síntomas crónicos más preocupantes, ya que puede llegar a ser progresiva y dañar las neuronas tanto motoras como sensitivas. También han reportado alteraciones cutáneas de 3 a 7 años luego de

empezar a la exposición del metal (Suárez *et al.*, 2004). Otros reportes señalan afecciones al sistema cardiovascular en niños al consumir agua contaminada con arsénico con concentraciones elevadas de 0,6 mg.L⁻¹ durante un tiempo promedio de 7 años (OMS, 2008).

El arsénico no tiene una tendencia a acumularse en el cuerpo a bajos niveles de exposición ambiental. En los humanos, aunque la ingestión de grandes dosis de arsénico puede ser letal, los niveles de exposición más bajos pueden causar una variedad de efectos sistémicos, que incluyen irritación del tracto digestivo, náuseas, vómitos y diarrea. Los efectos del arsénico ingerido incluyen la disminución de la producción de eritrocitos y leucocitos, función cardíaca anormal, daño hepático y/o renal y alteración de la función nerviosa en manos y pies (parestesia) (Howd y Fan, 2007).

El efecto gastrointestinal por el As causa la gastroenteritis hemorrágica (el trióxido de As es cáustico y se adhiere a la mucosa gástrica). La característica más relevante es una diarrea sanguinolenta; además, de efectos a órganos diana como el hígado. En este órgano produce una necrosis hepática y una afección a una gran cantidad de enzimas hepáticas.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR] (2005) refiere a este metaloide como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que tiene relación la ingestión de arsénico en el agua de bebida con el cáncer en la piel; además, de generar cáncer al pulmón al estar expuesto en trabajos ocupacionales que se encuentra en relación con el arsénico.

El cáncer al estómago y el angiosarcoma hepático son dos de los posibles efectos más comunes que presentan las personas a la exposición a formas inorgánicas de arsénico, y esto avalado por investigaciones realizadas en animales de laboratorio. En humanos se han reportado numerosos casos de cáncer, mayormente, del tracto respiratorio en los empleados dedicados a la producción de insecticidas que poseen compuestos de arseniato cálcico y arseniato de plomo; como también los fumigadores que se encuentran expuestos a compuestos inorgánicos de arsénico y otros elementos peligrosos para la salud; y los

viticultores que usan insecticidas con cobre inorgánico y compuestos arsenicales. Por lo general el tiempo de latencia es entre 15 a 30 años en la aparición del cáncer; en el caso del cáncer de pulmón surge por una acción sinérgica por el consumo constante del tabaco (OIT, 1998).

f. Arsénico en medios confinados

Por lo general el arsénico se libera de las rocas constituidas por minerales por medio de la erosión química, física e incluso microbiológico encontrados en ambientes acuosos. Se han reportado cuantiosas fuentes de arsénico geogénico, con más de 200 minerales con este elemento; sin embargo, por condiciones geoquímicas, geológicas, geomorfológicas, biogeoquímicas, hidrogeológicas y climáticas en diferentes es circunstancias, hace que el arsénico y su desplazamiento a los distintos ambientes estén controlados (Bundschuh y Litter, 2009).

Las concentraciones de fondo de As en el agua subterránea son en la mayoría de los países menos de 10 mg.L^{-1} y a veces sustancialmente más bajo. Sin embargo, los valores citados en la literatura muestran una amplia gama de concentraciones del orden de $<0,5$ a 5000 mg.L^{-1} . Este rango ocurre en condiciones naturales y suele encontrarse altas concentraciones de As en el agua subterránea en una variedad de ambientes. Estos incluyen tanto la oxidación (en condiciones de pH alto) como la reducción de acuíferos y áreas afectadas por actividad geotérmica, minera e industrial. La concentración por evaporación también puede aumentar sustancialmente las concentraciones. Los casos de contaminación inducida por la minería son numerosos en la literatura, pero tienden a ser localizados (Smedley y Kinninbuerg, 2002, citado por Paredes, 2012).

En Sudamérica, el arsénico se encuentra presente en el agua, en especial en el agua subterránea, como As geogénico por lo general está relacionado con el volcanismo en los Andes (Ecuador, Chile, Bolivia, Perú, Argentina, Colombia). Este elemento se origina de fuentes que traslada al ambiente por disolución natural, deterioro de rocas o consecuencia de las actividades mineras como los pasivos mineros. Otras fuentes, de consideración menor

y muy ubicadas, son las labores artificiales (como la producción de metales) y también agrícolas (plaguicidas e insecticidas) (Bundschuh y Litter, 2009).

En Perú la presencia del arsénico en el ambiente y en las fuentes de agua para consumo humano se debe a los diferentes factores fisicoquímicos de origen geológico y actividades antropogénicas que incluye la explotación de minerales y la fundición de metales en refinерías. La presencia de este elemento en aguas superficiales y subterráneas es natural en el Perú, está asociada principalmente al volcanismo terciario y cuaternario desarrollado en la Cordillera de los Andes (Bundschuh y Litter, 2009).

1.2.2 Minería en la Unidad Hidrográfica Río Huaura

En la Unidad Hidrográfica Río Huaura se practica la explotación polimetálica de tipo subterránea (socavones), además de las explotaciones no metálicas en la producción de carbón (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 1998). Sin embargo, como en otras Unidades Hidrográficas del país, en esta se encuentran los pasivos ambientales mineros.

En el Inventario inicial de Pasivos Ambientales Mineros, actualizado mediante R.M. N° 200-2021-MINEM/DM, de fecha 30 de junio del 2021, se ha registrado 58 pasivos ambientales mineros en la Unidad Hidrográfica Río Huaura. En general, se ha registrado pasivos de tipo “Labor minera” en mayor cantidad (29), seguido por “Residuo minero” (25) e “Infraestructura” (4) (Figura 3).

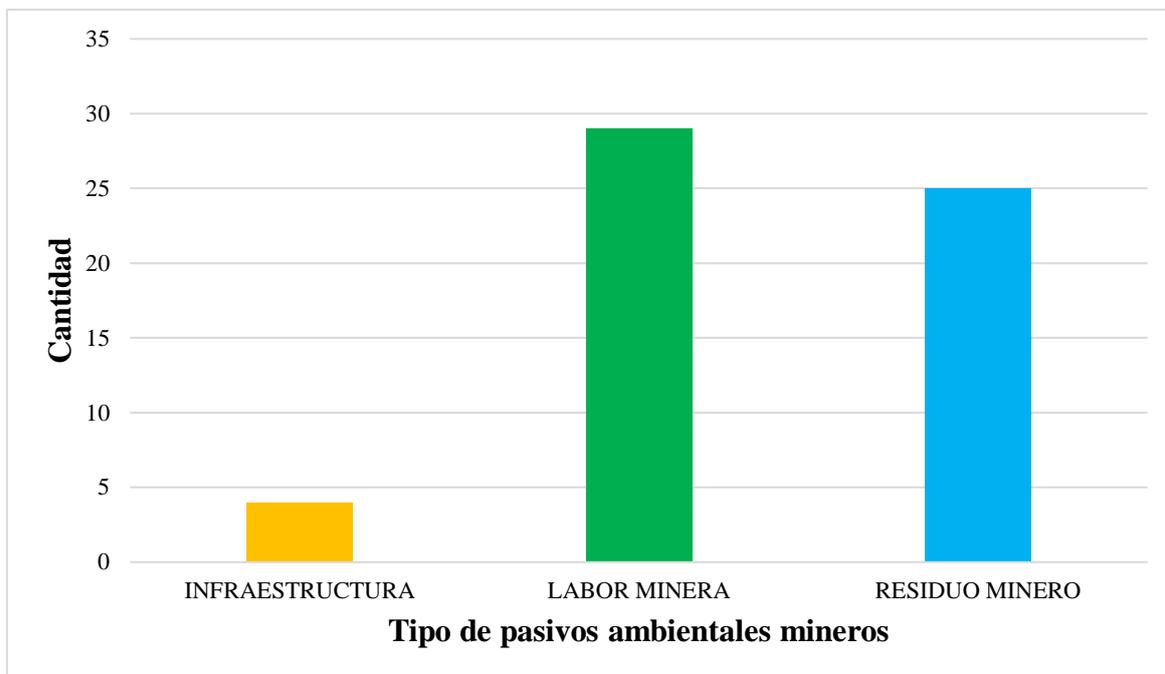


Figura 3. Pasivos ambientales mineros en la Unidad Hidrográfica por tipo, hasta junio de 2021. Fuente: Elaborado a partir de la R.M. N° 200-2021-MINEM/DM.

1.2.3 Aguas subterráneas

El agua subterránea se refiere a toda el agua que ocupa los vacíos, poros y fisuras dentro de las formaciones geológicas, que se originaron a partir de la precipitación atmosférica ya sea directamente por infiltración de lluvia o indirectamente de ríos, lagos o canales. Las formaciones de arenas, grava, areniscas y calizas son las fuentes habituales de suministro de agua subterránea, aunque algunos pueden ser extraídos de rocas impermeables como como granito cuando tienen una sobrecarga de arena o grava. El agua subterránea es un valioso recurso de agua dulce y constituye aproximadamente dos tercios de las reservas de agua dulce del mundo. Buchanan (1983) estimó el depósito de agua subterránea del mundo en aproximadamente $5,0 \times 10^{24}$ L, este volumen es más de 2000 veces el volumen de agua en todos los ríos del mundo y más más de 30 veces el volumen contenido en todos los lagos de agua dulce.

El agua subterránea se utiliza con fines agrícolas, industriales y fines domésticos. Su uso es cada vez más intenso se debe a la buena calidad de muchos depósitos de agua cumple con el estándar de calidad del agua potable de la OMS; además de una recarga continua por las precipitaciones y el escurrimiento superficial (Díaz *et al.*, 2006).

La precipitación es la fuente principal de toda el agua dulce en el ciclo hidrológico. Cae casi en todas partes, pero su distribución es muy variable. Del mismo modo, la evaporación y la transpiración devuelven el agua a la atmósfera en casi en todas partes, pero las tasas de evaporación y transpiración varían considerablemente según las condiciones de clima. Como resultado, gran parte de la precipitación nunca llega a los océanos y se genera escorrentías antes de que el agua regrese a la atmósfera. El agua subterránea se mueve a lo largo de trayectorias de flujo de diferentes longitudes desde áreas de recarga a zonas de descarga. La fuente de agua al nivel freático (agua subterránea recarga) es la infiltración de precipitación a través de la zona insaturada. En general, el agua subterránea poco profunda es más susceptible a contaminación de fuentes y actividades humanas por su proximidad a la superficie terrestre (Cerón *et al.*, 2005).

Las unidades geológicas que tienen diferentes permeabilidades también afectan la distribución de las filtraciones en los lechos de aguas superficiales. Por ejemplo, una arena muy permeable que consiste en gran parte de limo transmitirá agua preferentemente al agua superficial como manantial. Otro elemento es la transpiración de las plantas; así, las raíces de las plantas pueden penetrar en la zona saturada, permitiendo a la planta transpirar agua directamente al sistema de agua subterránea. La transpiración del suelo da como resultado una reducción del nivel freático muy parecido al efecto de un pozo bombeado. Esta transpiración diaria y estacional altamente variable de las aguas subterráneas puede reducir significativamente la descarga de agua subterránea a una masa de agua superficial o incluso provocar el movimiento del agua superficial en el subsuelo (Cerón *et al.*, 2005).

a. Composición química natural del agua subterránea

Las características de composición química del agua subterránea van a depender, en especial, del material que está formado el acuífero. Muchas de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico y la mayoría son cationes como el calcio, sodio, potasio, magnesio; y los aniones como, cloruro, sulfato y bicarbonato. Casi siempre el agua de las precipitaciones al disolver el dióxido de carbono de la atmósfera, incluso del suelo, durante su recorrido a la zona saturada, aumenta la carga de bicarbonato y comienza a aumentar la acidez de lo que era anteriormente, de forma que puede disolver minerales de su entorno (Rebollo y Loeches, 2007).

El pH y la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas están estrechamente relacionados en las reacciones químicas que se puedan crear dentro del acuífero. Estas aguas poseen la capacidad de disolución superior que las aguas superficiales, y no por ser provocado de manera violenta, por el contrario, es por qué se quedan mucho más tiempo confinadas y en contacto con las formaciones geológicas donde están albergadas y las cuales se moviliza (Rebollo y Loeches, 2007).

b. Acuíferos

López *et al.* (2009, p.17), define acuífero como “una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos, que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas, o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas”.

Los acuíferos cuentan con variados tamaños, que van de pequeñas dimensiones hasta enormes extensiones, como millares de kilómetros cuadrados; como también a partir de pocos metros de espesor a centenares o miles de metros (López *et al.*, 2009).

Las formaciones geológicas con capacidad acumular agua y transmitir el agua muy lentamente o con dificultad, reciben el nombre de acuitardo. Sin embargo, tienen la capacidad de permutar significativos volúmenes de agua con aquellos acuíferos que se encuentran en contacto horizontal, debido a que la superficie de intercambio es muy vasta (López *et al.*, 2009; García y Fernández, 2009, citado por Jimenez, 2017).

Los acuíferos se pueden clasificar según la presión hidrostática entre ellos se encuentra:

Acuíferos libres, no confinados o freáticos

Los acuíferos no confinados a diferencia de los acuíferos confinados, generalmente se encuentran cerca de la superficie terrestre y no tienen capas de arcilla (u otro material geológico impermeable) sobre el nivel freático, aunque se encuentran relativamente por encima de capas de rocas arcillosas impermeables. El límite superior del agua subterránea dentro del acuífero no confinado es el nivel freático, el agua subterránea en un acuífero no confinado es más vulnerable a la contaminación de la superficie en comparación con los acuíferos confinados, esto se debe a la fácil infiltración del agua subterránea por la tierra. La fluctuación en el nivel de las aguas subterráneas varía y depende de la cantidad de agua subterránea almacenada en el espacio del acuífero, que a su vez afecta el aumento o la caída de los niveles de agua en pozos que obtienen su fuente de agua de los acuíferos. La cantidad de agua que se encuentra disponible en este tipo de acuífero suele ser poca y disponible por cortos períodos de tiempo (Rebollo y Loeches, 2007).

Acuíferos confinados

Los acuíferos confinados son aquellos cuerpos de agua que se encuentran acumulados en una roca permeable y son encerrados por dos capas rocosas impermeables o cuerpos rocosos. Los acuíferos confinados son acuíferos que se encuentran cubiertos por una capa de roca o cuerpos rocosos confinantes, a menudo formados por arcilla que podría ofrecer alguna forma de protección contra la contaminación de la superficie. Las barreras geológicas que son no permeables y se encuentran entre el acuífero hace que el agua dentro de él sea de baja presión que es comparativamente mayor que la presión atmosférica. La presencia de fracturas o grietas en el lecho rocoso también es capaz de contener agua en grandes aberturas dentro lechos de roca que disuelven parte de la roca y dan cuenta de altos rendimientos de pozo en terreno kárstico. El flujo de agua subterránea a través de los acuíferos es vertical u horizontalmente a tasas a menudo influenciadas por la gravedad y las formaciones geológicas, en estas áreas los acuíferos confinados también podrían denominarse "acuíferos artesianos", que se encuentran más por encima de la base de capas de roca confinadas. Los acuíferos tienen fluctuaciones en sus niveles de agua debido más al cambio de presión que a la cantidad de agua almacenada (Rebollo y Loeches, 2007).

Acuíferos semiconfinados o semicautivos

Este tipo de acuíferos se considera particular, donde, el límite superior y/o inferior, no son completamente impermeables, por el contrario, concede la movilidad vertical del agua. Este acceso vertical de masa de agua puede venir desde o hacia el acuitardo, pero varía con el tiempo (Jimenez, 2017).

c. Contaminación de aguas subterráneas

El agua subterránea es una fuente importante de agua dulce para la población mundial y se utiliza para usos domésticos, agrícolas e industriales. Aproximadamente un tercio de la población mundial depende del agua subterránea para beber. El agua subterránea es un recurso particularmente importante en las regiones áridas y semiáridas donde el agua superficial y las precipitaciones son limitadas (López *et al.*, 2009). Sin embargo, la urbanización, las prácticas agrícolas, las actividades industriales y el cambio climático representan amenazas importantes para la calidad del agua subterránea (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2015). Los contaminantes, como metales tóxicos, hidrocarburos, trazas de contaminantes orgánicos, pesticidas, nanopartículas, microplásticos y otros contaminantes emergentes, son una amenaza para la salud humana, los servicios ecológicos y el desarrollo socioeconómico sostenible (Baz, 2019).

Durante las últimas tres décadas, la contaminación química es un tema común informado en los estudios de aguas subterráneas. Si bien la contaminación del agua subterránea es un gran desafío para las poblaciones humanas, este tema también presenta una gran oportunidad para que los investigadores comprendan mejor cómo han evolucionado nuestros acuíferos subterráneos y para que los tomadores de decisiones comprendan cómo podemos proteger tanto la calidad como la cantidad de estos recursos. Los acuíferos de agua dulce son una de las secciones más importantes de la Zona Crítica (CZ), que se extiende desde la parte superior del dosel de la vegetación hasta el fondo del acuífero (Lin, 2010).

Muchos de los contaminantes en las aguas subterráneas son de origen geogénico como resultado de la disolución de los depósitos minerales naturales dentro de la corteza terrestre. Sin embargo, debido a la rápida expansión de la población mundial, la urbanización, la industrialización, la producción agrícola y la economía, ahora nos enfrentamos al desafío de los impactos negativos de los contaminantes de origen antropogénico. Los países más afectados por estos cambios globales son los que están atravesando un rápido desarrollo económico, muchos de ellos ubicados en el hemisferio (Cerón *et al.*, 2005).

1.2.4 Distrito de Végueta

a. Hidrogeología

En esta zona, el nivel freático se observa en diferentes niveles que van de los 0,87 m a los más profundos con 24,54 m en el sector de la Pampa en Huaura. En el distrito de Végueta la capa hídrica subterránea va de 2,33 y 5,26 m de profundidad lo que muestra que las capas freáticas de agua no son muy profundas en esta localidad (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2005).

Según el estudio geomorfológico hidrológico de un sector de la Irrigación San Felipe, elaborado por el Centro de Investigación en Geografía Aplicada [CIGA-PUCP] (1993) muestran un reservorio acuífero de naturaleza coluvio-aluvial, que tienen a ser procesos continuos en donde predominan los detritos aluviales que son generados en las quebradas al este de esta zona agrícola. La permeabilidad de la zona varía entre 2,75 y $15,36 \times 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, con un coeficiente de almacenamiento de 1,15 % (INRENA, 2005); el cual ha sido denominado acuífero costero de Medio Mundo (Santos y Peña, 2016).

Desde el enfoque hidrogeológico, la falta de estratificación de los materiales estaría permitiendo la percolación profunda y la facilitación del drenaje a la laguna Medio Mundo (CIGA-PUCP, 1993, p. 28). Las rocas impermeables del Grupo Casma ayudan a la acumulación y movilización del agua subterránea, al formar un soporte impermeable del acuífero costero de Medio Mundo, véase la Figura 4 (Santos y Peña, 2016).

Según Rodríguez (2017, p. 69) refiere:

En síntesis, la gradiente hidráulica elevada en San Felipe, así como las características del suelo y del acuífero costero permiten que el agua de riego no consumido por los cultivos de San Felipe se percola rápidamente (uso no consuntivo) y fluya en dirección hacia la zona del humedal, formando manantiales cuya descarga hídrica alimenta a la albufera. Así, se demuestra la conexión entre las aguas subterráneas provenientes de San Felipe y la regulación hídrica de la albufera (Figura 4).

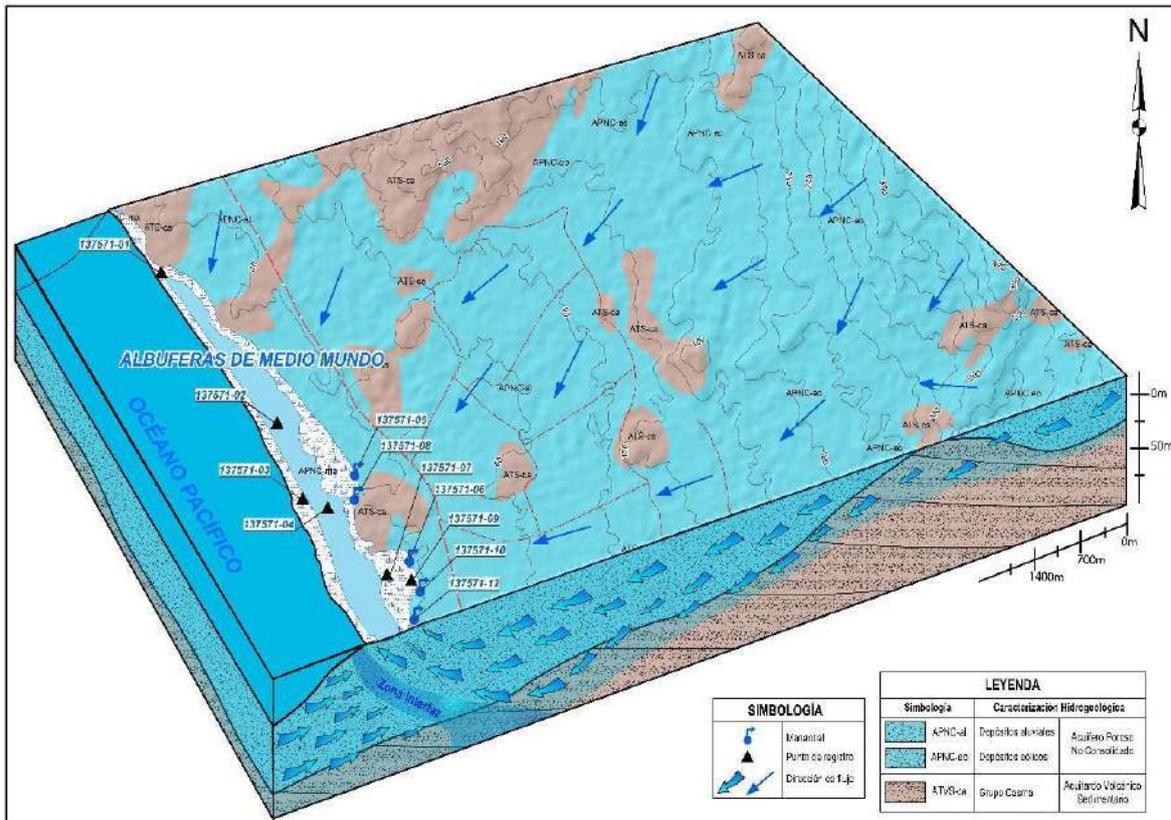


Figura 4. Modelo hidrogeológico de las Albuferas de Medio Mundo contaminación de aguas subterráneas. Fuente: Santos y Peña (2016).

b. Abastecimiento de agua potable

En el distrito de Végueta, las fuentes de agua para el consumo humano son, principalmente, agua subterránea; los cuales solo reciben la cloración para luego ser distribuida por las redes ya existentes.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La presente investigación desarrollada fue de tipo no experimental, en donde se cuantificaron las concentraciones de arsénico presentes en cada pozo de agua subterránea, sin ningún tipo de intervención por parte del investigador. Por otro lado, presentó un enfoque de tipo cuantitativo, en la que se recolectó datos referidos a los valores de diversos parámetros analizados de las aguas subterráneas. Asimismo, tuvo un alcance de tipo descriptivo porque se especificaron las características fisicoquímicas que presentaron los diversos pozos de agua subterránea estudiados (Hernández y Mendoza, 2018).

2.2. Lugar y fecha

Las muestras para la presente investigación se extrajeron de 21 pozos de agua subterránea localizados en el distrito de Végueta de la provincia de Huaura. Los periodos de muestreo corresponden a dos periodos: diciembre del 2017 y junio del 2018.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población estará conformada por las aguas subterráneas que se distribuyen y se delimitan en el distrito de Végueta- Huaura.

2.3.2. Muestra

Para determinar la cantidad representativa del número de muestras se aplicó la fórmula siguiente (American Public Health Association [APHA] *et al.*, 1992):

$$N \geq \left(\frac{ts}{U}\right)^2$$

Donde:

N : Número de muestras.

t : Valor del t- de Student para un nivel dado.

s : Desviación estándar general.

U : Nivel aceptable de incertidumbre.

(*) Se propone un valor de s de 0,5, siendo el valor de U de 0,2, para un nivel de confianza del 95 % de confianza.

Así tenemos:

$$N \geq \left(\frac{1,71 \times 0,5}{0,2}\right)^2$$

$$N \geq 18,5$$

En la presente investigación se han analizado 21 muestras para cada periodo estacional, es decir, una muestra por pozo estudiado. Los lugares para la extracción de la muestra se detallan en la Tabla 1 y Figura 5; mientras que los períodos de muestreo se describen en la Tabla 2.

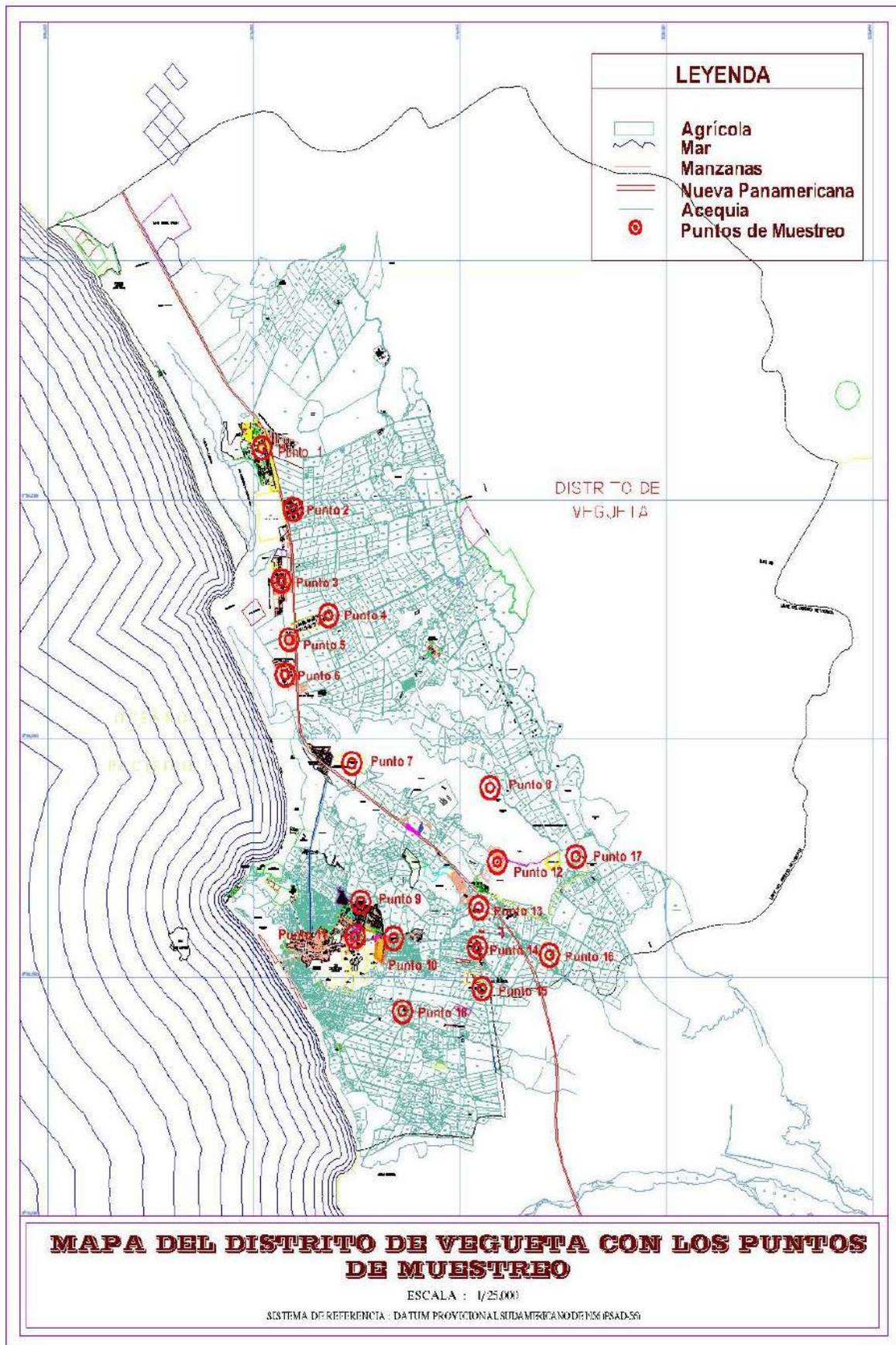


Figura 5. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el distrito de Végueta.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1

Puntos de muestreo con las ubicaciones de las pozas para la extracción del agua en los dos periodos

Item	Punto de Muestreo	Nombre del Pozo	Coordenadas Geográficas		Cantidad de Muestras
			ZONA 18S		
01	El Colorado	Pozo Comunal	11°02.062'	71°37.310'	1
02	El Colorado	Familia Ortiz	11°01.971'	77°36.432'	1
03	Guadalupe	Pozo Comunal	11°02.686'	77°36.848	1
04	Ruquia	Pozo Comunal	11°02.562'	77°37.794'	1
05	San Luis	Pozo Comunal	11°01.874'	77°36.312'	1
06	Mazo	Familia Gonzales	11°01.300'	77°36.412'	1
07	UCSS- Externo	Familia Valladares	11°00.976'	77°36.435'	1
08	UCSS-Pozo 1	UCSS-Pozo 1	11°00.930'	77°36.389'	1
09	UCSS-Pozo 2	UCSS-Pozo 2	11°00.879'	77°36.411'	1
10	Túpac Amarú	JASS Túpac Amarú	11°00.453'	77°36.489'	1
11	Santa Isabel	Pozo Comunal	10°59.394'	77°38.367'	1
12	Santa Bárbara	Filtración Santa Bárbara	10°58.640'	77°37.304'	1
13	Santa Cruz Alta	Familia Camones	10°56.839'	77°38.839'	1
14	Santa Cruz Bajo	Fundo Gonzales	10°57.326'	77°38.813'	1
15	La Villa	Fundo La Cabaña	10°57.740'	77°38.807'	1
16	San Martín	Pozo Comunal	10°57.864'	77°38.861'	1
17	San Felipe	Familia Pajuelo	10°58.116'	77°38.792'	1
18	Mar Dorado	Filtración Mar Dorado	10°59.164'	77°38.327'	1
19	La Perla	JASS La Perlita	11°01.228'	77°37.491'	1
20	La Florida	JASS La Florida	11°01.299'	77°37.126'	1
21	La Muralla	Pozo Comunal	11°01.534'	77°35.311'	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Periodo estacional de muestreo para la obtención de agua subterránea

PERIODO	CANTIDAD DE MUESTRAS
Verano (diciembre, 2017)	21 unidades
Invierno (junio, 2018)	21 unidades

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Descripción de la investigación

2.4.1. Muestras de agua extraídas de los pozos estudiados

Las muestras de agua fueron extraídas de 21 pozos subterráneos con ayuda de un recipiente de polietileno debidamente esterilizado, aplicando las recomendaciones indicadas en el “Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: muestreo de aguas subterráneas” (MINAM, 2016). Antes de iniciar el muestreo se determinó la profundidad del nivel estático de cada pozo. Se utilizó para ello una soga con graduación métrica. La profundidad del nivel de agua se determinó en el momento en que la soga toca la superficie del agua y envía un ruido sonoro que indica que se ha alcanzado el nivel estático del pozo.

Las muestras se tomaron utilizando un recipiente tratando de no alterar al mínimo el régimen de agua. Este método en cuanto sea posible utilizarlo garantiza la obtención de muestras representativas de agua subterránea. Todos los pozos fueron purgados (descarga completa del agua almacenada en el pozo) y limpiados antes de la toma de las muestras, asegurándonos que el agua extraída represente las condiciones reales del acuífero. Previamente al muestreo se esterilizó frascos de Boro silicato de 500 ml, los cuales fueron debidamente rotulados.

Las muestras de agua colectadas fueron preservadas con ácido sulfúrico [H₂SO₄] al 97 % con pH menor a 2, para las cuantificaciones de arsénico y amoníaco. El transporte de los frascos conteniendo las muestras se realizó en un *cooler* para evitar su contaminación. El almacenaje se realizó en forma vertical y considerando que los frascos de vidrio se encuentren apropiadamente protegidos evitando su rompimiento.

Las lecturas de los parámetros de campo (T, pH, C.E, O.D.) fueron realizadas directamente en el cuerpo de agua y los otros parámetros se realizaron en las instalaciones del laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad Católica Sedes Sapiente-Lima.

2.4.2. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los principales parámetros fisicoquímicos fueron medidos directamente en el campo y laboratorio siguiendo la metodología de Bartram y Ballance (1996). Así el pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura fueron analizados *in situ*, mientras que los otros parámetros como dureza total y amoníaco se analizaron en el laboratorio.

2.4.3. Método de extracción de arsénico

Los análisis del contenido de arsénico fueron realizados a partir de 350 ml de muestras de agua extraída de los diferentes pozos. Las muestras fueron sometidas al kit de prueba para determinar Arsénico con rangos de detección de 0,001-0,10 mg.L⁻¹. La lectura de las muestras tratadas fue cuantificada por fotometría haciendo uso del fotómetro pHotoflex WTW®. El fundamento de esta técnica para determinar el arsénico es la transformación del arsénico inorgánico en arsina, para llegar a esta forma se tuvo que llevar la solución a una alta acidez con la adición de ácido sulfúrico y la incorporación de granallas de zinc. Posteriormente, la arsina obtenida reaccionó con una solución de dietilcarbamato de plata en piridina generando un complejo rojo. Finalmente, la solución fue llevada a una cubeta para ser leída por el fotómetro, tal como lo describe Wong (2000).

2.4.4. Entrevista a los pobladores sobre el uso de los pozos

Con la finalidad de obtener información relevante al tema, se aplicó una entrevista sugerida por Caballero *et al.* (2010), está compuesta de una guía de preguntas estructurales que permitió acceder a los tipos de uso de los pozos:

- Uso para consumo humano.
- Uso para consumo de animales domésticos.
- Uso industrial.

- Uso para riego.
- Uso para lavandería.

2.5. Identificación de variable y su mensuración

A continuación, se describen las variables de la investigación; así como, su respectiva mensuración:

a. Medición del Arsénico

Para la medición del Arsénico se usó un fotómetro que permitió la lectura de las 21 muestras de agua.

b. Medición de pH

Para la medición del pH se usó el potenciómetro HANNA HI 9828 pH de campo debidamente calibrado.

c. Medición de la Conductividad

Para la medición de conductividad se usó el conductímetro de campo Lutren WA-2017SD que fue calibrado con sales de KCl como expresa el fabricante.

d. Medición de la temperatura

Para la medición de la temperatura se usó un termómetro de mercurio.

e. Medición del oxígeno disuelto

Para la medición del OD se usó un multiparámetro de campo Lutren WA-2017SD con rangos de 0,1 a 10,00 ppm.

f. Medición de la dureza total

Para la medición de la dureza se usó el fotómetro pHotoflex WTW®.

g. Medición del amoníaco total

Para la medición del amoníaco total se usó el fotómetro pHotoflex WTW® con rangos de 0,0001-1,00 ppm.

h. Pozos o puntos de muestreo

Está referido a los distintos puntos de donde se extrajo las muestras de agua.

i. Períodos de evaluación

Está referido a los dos períodos estacionales de extracción y análisis de las muestras.

Las variables en estudio, sus unidades de medida y el método de determinación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Variable en estudio, unidades de medida y método de análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua

VARIABLES EN ESTUDIO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO
Arsénico	mg.L ⁻¹	Fotometría
Potencial de hidrógeno	Rangos de pH	Potenciómetro
Temperatura	°C	Termómetro
Conductividad eléctrica	uS.cm ⁻¹	Conductimetría
Oxígeno disuelto	mg.L ⁻¹	Winkler modificado
Amoníaco	mg.L ⁻¹	Fotometría
Dureza total	mg.L ⁻¹	Fotometría

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Análisis de datos

Los datos se procesaron con los estadísticos descriptivos, tales como: el mínimo, máximo, promedio, mediana y desviación estándar; para analizar los datos y evaluar la dispersión de los valores para cada parámetro. Luego, se correlacionaron mediante el Coeficiente de Pearson usando el *software* SPSS v.21.

2.7. Materiales y equipos

2.7.1. Materiales de laboratorio

- Matraz Erlenmeyer de 100 ml.
- Probeta de 100ml.
- Tubos de ensayo.
- Pipetas de plástico de 1 ml.
- Cuchara medidora.
- Tubo de absorción.
- Vaso precipitado de 250 ml.
- Agitador de vidrio.

2.7.2. Reactivos

- Ácido sulfúrico [H₂SO₄] al 97 %.
- Zinc granulado.
- Kit de fotométricos para la determinación del arsénico y dureza.
- Cloruro de potasio [KCl] al 0.01N.

2.7.3. Equipos de laboratorio

Se han utilizado los siguientes equipos de laboratorio: fotómetro WTW, termómetro de mercurio, multiparámetro de campo Lutren WA-2017SD, balanza analítica y potenciómetro Hanna hi 9828.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de las muestras de agua subterránea en los periodos de diciembre (2017) y junio (2018)

3.1.1. Valores de pH obtenidos de las muestras de agua subterránea

La Tabla 4 muestra los valores promedio de pH obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

El pH del cuerpo de agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 7,03 y un valor máximo de 8,6 correspondientes a los puntos de muestreos 03 y 14 respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de 6,56 y un valor máximo de 8,45 correspondiente al pozo comunal de Ruquia (Punto 04) y pozo del Fundo Gonzales de Santa Cruz Bajo (Punto 14), respectivamente.

En la Figura 6 se presenta los valores de pH obtenidos durante las mediciones *in situ* en las 2 temporadas, los cuales fueron comparados con el estándar establecido en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano, aprobado mediante el D.S. N° 031-2010-SA, la cual considera a este parámetro dentro de los Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica para aguas subterráneas y superficiales

El pH del agua de los diversos puntos muestreados (21 puntos) presentaron valores desde 6,56 en el pozo de la comunidad La Villa, hasta un valor de 8,5 en el pozo de la localidad de San Luis de Mazo. Los valores de pH se encuentran dentro del rango permisible establecido en el Reglamento de Calidad del Agua, cuyos rangos van de 6,5 a 8,5.

El análisis de varianza de los valores de pH del agua en los periodos de diciembre y junio no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$) (Apéndice 1).

Tabla 4

Promedio de los valores de pH obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio) (Promedio \pm desviación estándar)

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (diciembre, 2017)	Invierno (junio, 2018)
01	7,21	7,17
02	7,12	6,56
03	7,03	6,78
04	7,15	6,75
05	7,1	7,03
06	7,2	7,12
07	7,42	7,15
08	7,22	7,20
09	7,6	7,53
10	7,3	7,23
11	7,29	7,14
12	7,5	7,15
13	7,9	7,26
14	8,5	8,45
15	8,42	7,98
16	7,95	7,45
17	7,8	7,67
18	7,74	7,48
19	7,46	7,75
20	7,33	7,27
21	7,25	7,23
(1) Reglamento de calidad del agua	5,5 - 9,0	

Fuente: Elaboración propia. (1): Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Reglamento de Calidad del Agua para consumo humano.

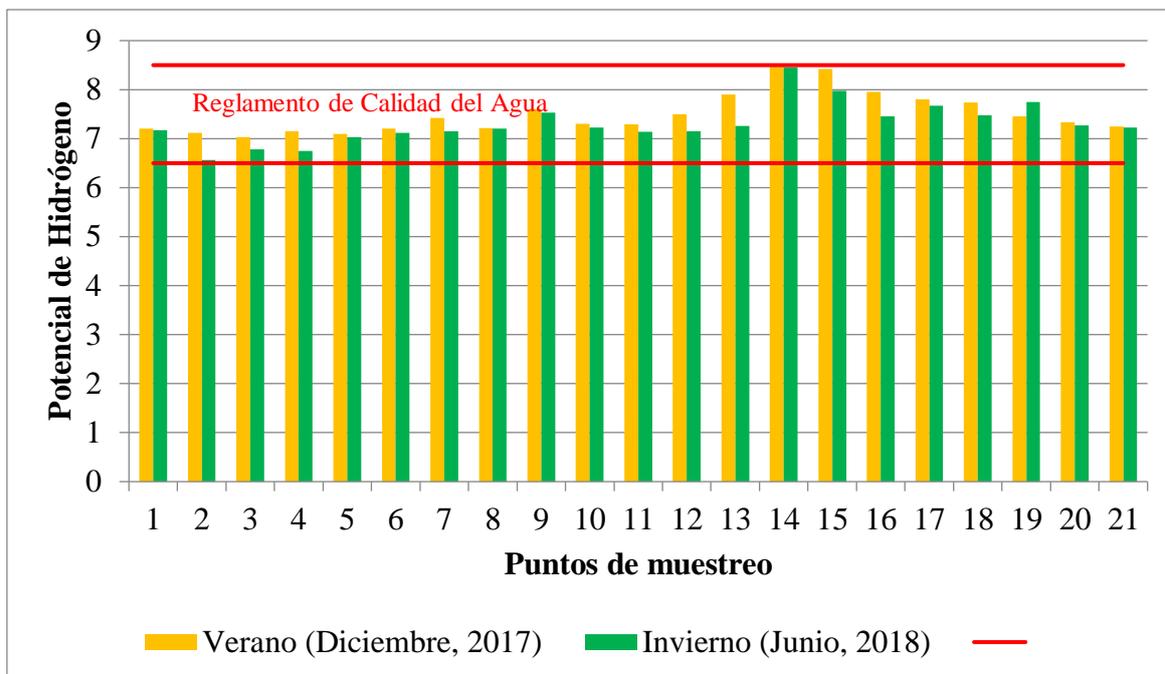


Figura 6. Valores de pH en los puntos de muestreo y los rangos establecidos por el reglamento de calidad de agua para consumo humano. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Valores de temperaturas obtenidas de las muestras de agua subterránea

La Tabla 5 muestra los valores de la temperatura obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

La temperatura del cuerpo de agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 25,2 °C y un valor máximo de 25,3 °C. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de 26,5 °C y un valor máximo de 28,00 °C.

En la Figura 7 se presenta los valores de temperatura obtenidos durante las mediciones *in situ* en las 2 temporadas. La máxima temperatura se registró en los pozos de las comunidades de San Martín y San Felipe en los periodos de junio y la temperatura mínima se registraron en el mes de diciembre y fue de 25,2 °C en 16 pozos analizados.

El análisis de varianza de los valores de temperatura en los periodos de diciembre y junio no presentaron diferencia significativa ($p=0,135$) (Apéndice 2).

Tabla 5

Valores de temperaturas obtenidas de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (diciembre, 2017)	Invierno (junio, 2018)
01	25,2	27,3
02	25,2	27,3
03	25,2	27,3
04	25,2	27,3
05	25,2	28,0
06	25,2	28,0
07	25,2	26,6
08	25,2	26,6
09	25,2	26,6
10	25,2	26,6
11	25,3	26,6
12	25,3	26,6
13	25,3	26,6
14	25,3	26,6
15	25,3	26,6
16	25,2	26,6
17	25,2	26,5
18	25,2	26,5
19	25,2	26,7
20	25,2	26,5
21	25,2	26,5

Fuente: Elaboración propia.

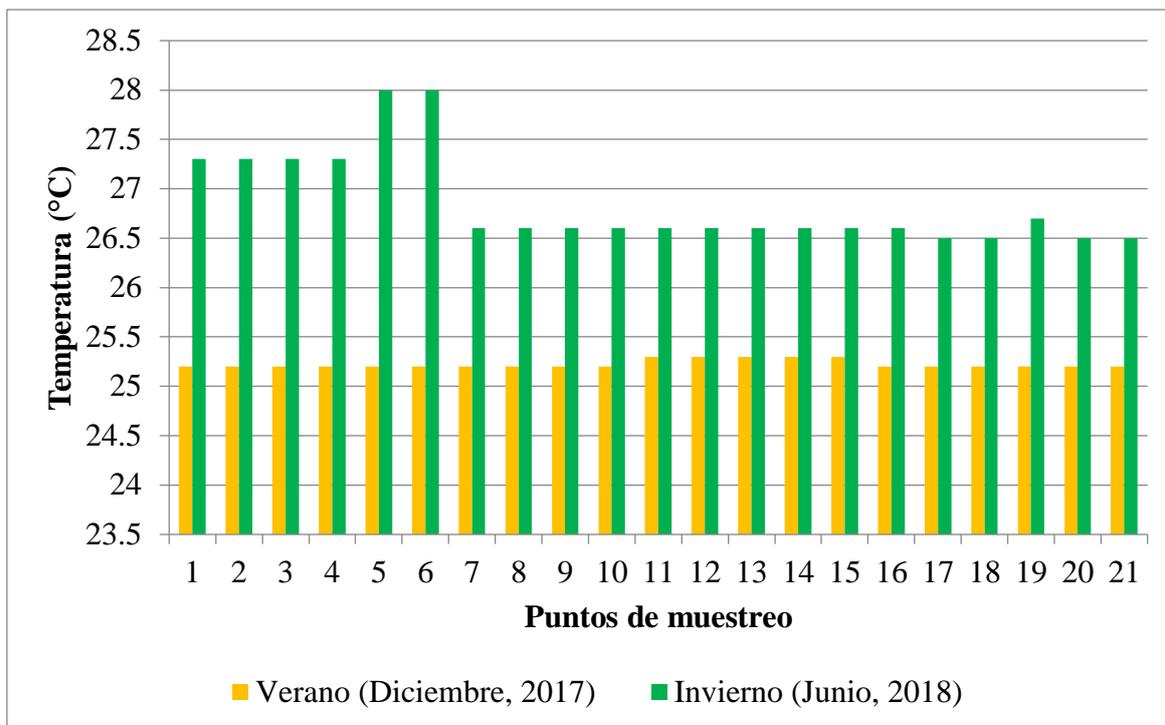


Figura 7. Valores de temperatura del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Valores de Conductividad eléctrica obtenidos de las muestras de agua subterránea

La Tabla 6 muestra los valores de conductividad eléctrica obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

La conductividad eléctrica del agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de $480 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y un valor máximo de $1520,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ correspondientes a los puntos de muestreos 11 (Santa Isabel) y 04 (Ruquia) respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de $340 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para los puntos de muestreo 13 (Santa Cruz) y un valor máximo de $1200,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ correspondientes al punto de muestreo 06 (Mazo).

En la Figura 8 se presenta los valores de conductividad eléctrica obtenidos durante las mediciones *in situ* en las 2 temporadas, los cuales fueron evaluados de acuerdo con el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), la cual

considera a este parámetro (exceptuando al punto de muestreo 04) dentro de los Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad organoléptica para aguas subterráneas y superficiales.

El análisis de varianza de los valores de conductividad eléctrica en los periodos de diciembre y junio presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) (Apéndice 3).

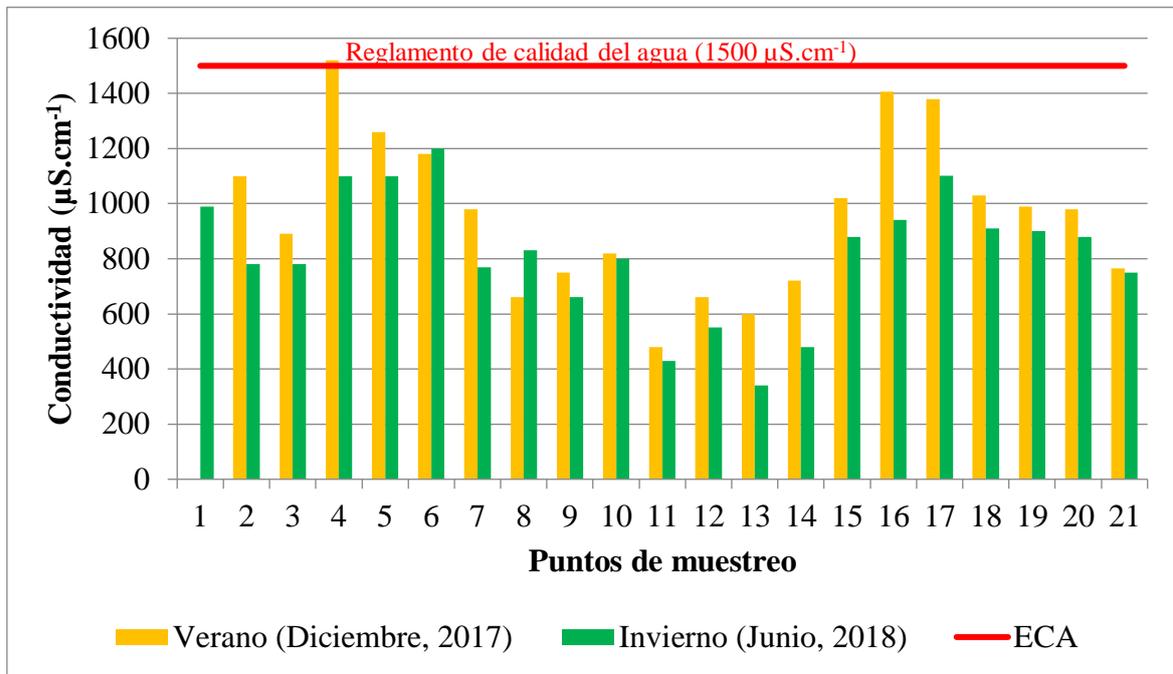


Figura 8. Valores de Conductividad eléctrica del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Valores de la conductividad eléctrica obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)

Punto De Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (diciembre, 2017)	Invierno (junio, 2018)
01	1410	990
02	1100	780
03	890	780
04	1520	1100
05	1260	1100
06	1180	1200
07	980	770
08	660	830
09	750	660
10	820	800
11	480	430
12	660	550
13	600	340
14	720	480
15	1020	880
16	1407	940
17	1380	1102
18	1030	910
19	990	900
20	980	879
21	766	750

Fuente: Elaboración propia. (1): Decreto Supremo N° 031-2010- “Reglamento de Calidad del Agua para consumo humano”.

3.1.4. Valores de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras de agua subterránea

La Tabla 7 muestra los valores de oxígeno disuelto obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

El oxígeno disuelto del agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 1,2 mg.L⁻¹ y un valor máximo de 6,0 mg.L⁻¹ correspondientes a los puntos de muestreos 19 (La Perla) y 12 (Sta. Bárbara) respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de 1,0 mg.L⁻¹ de oxígeno disuelto para los puntos de muestreo 19 (La Perla) y un valor máximo de 4,0 mg.L⁻¹ correspondiente a los puntos de muestreo 12 y 16 pertenecientes a las localidades de Santa Bárbara y San Martín respectivamente.

En la Figura 9 se presenta los valores de oxígeno disuelto obtenidos durante las mediciones In situ en las 2 temporadas. El parámetro del oxígeno disuelto no está considerado en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), la cual considera a este parámetro dentro de los Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica para aguas subterráneas y superficiales.

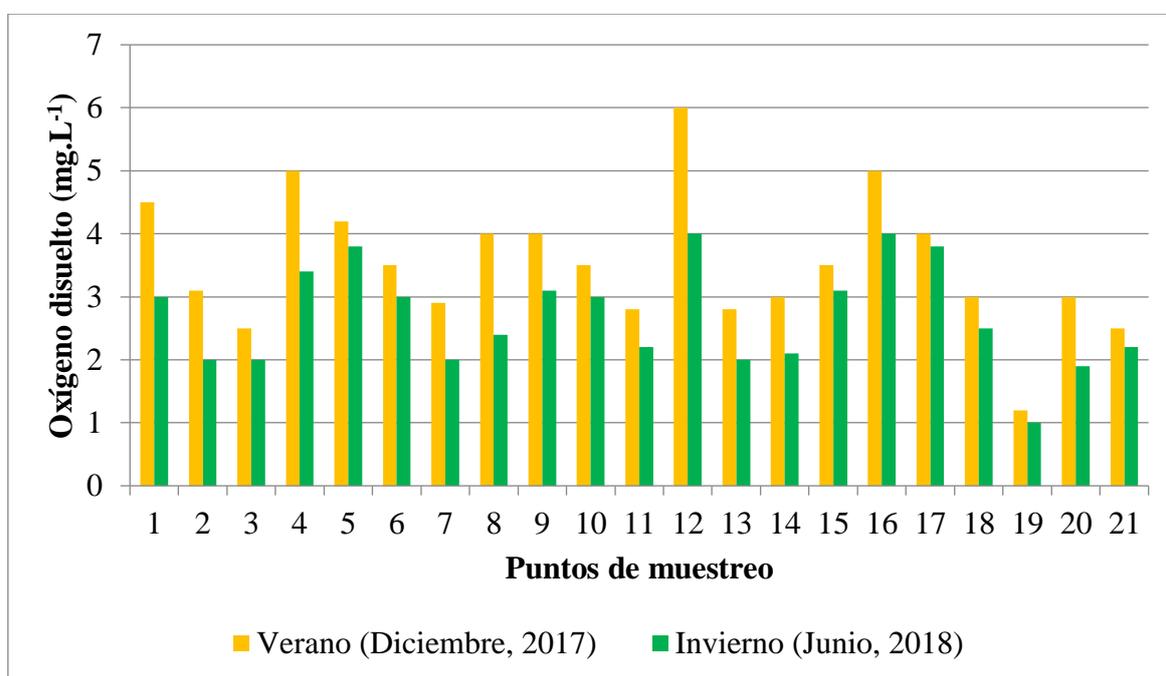


Figura 9. Valores de oxígeno disuelto del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza de los valores de oxígeno disuelto en los periodos de diciembre y junio presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) (Apéndice 4).

Tabla 7

Valores de oxígeno disuelto obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (Diciembre, 2017)	Invierno (Junio, 2018)
01	4,5	3,0
02	3,1	2,0
03	2,5	2,0
04	5,0	3,4
05	4,2	3,8
06	3,5	3,0
07	2,9	2,0
08	4,0	2,4
09	4,0	3,1
10	3,5	3,0
11	2,8	2,2
12	6,0	4,0
13	2,8	2,0
14	3,0	2,1
15	3,5	3,1
16	5,0	4,0
17	4,0	3,8
18	3,0	2,5
19	1,2	1,0
20	3,0	1,9
21	2,5	2,2

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Valores de dureza total obtenidos de las muestras de agua subterránea

La Tabla 8 muestra los valores de dureza total obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

La dureza total del cuerpo de agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 39 mg. L⁻¹ y un valor máximo de 161 mg. L⁻¹ correspondientes a los puntos de muestreos 07 y 19 respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de 30 mg. L⁻¹ y un valor máximo de 120 mg. L⁻¹ correspondientes a los puntos 11 y 02 respectivamente.

En la Figura 10 se presenta los valores de la dureza total obtenidos en laboratorio en las 2 temporadas, los cuales fueron evaluados de acuerdo con el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), la cual considera a este parámetro dentro de los Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica para aguas subterráneas y superficiales.

El análisis de varianza de los valores de dureza total en los periodos de diciembre y junio presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) (Apéndice 5).

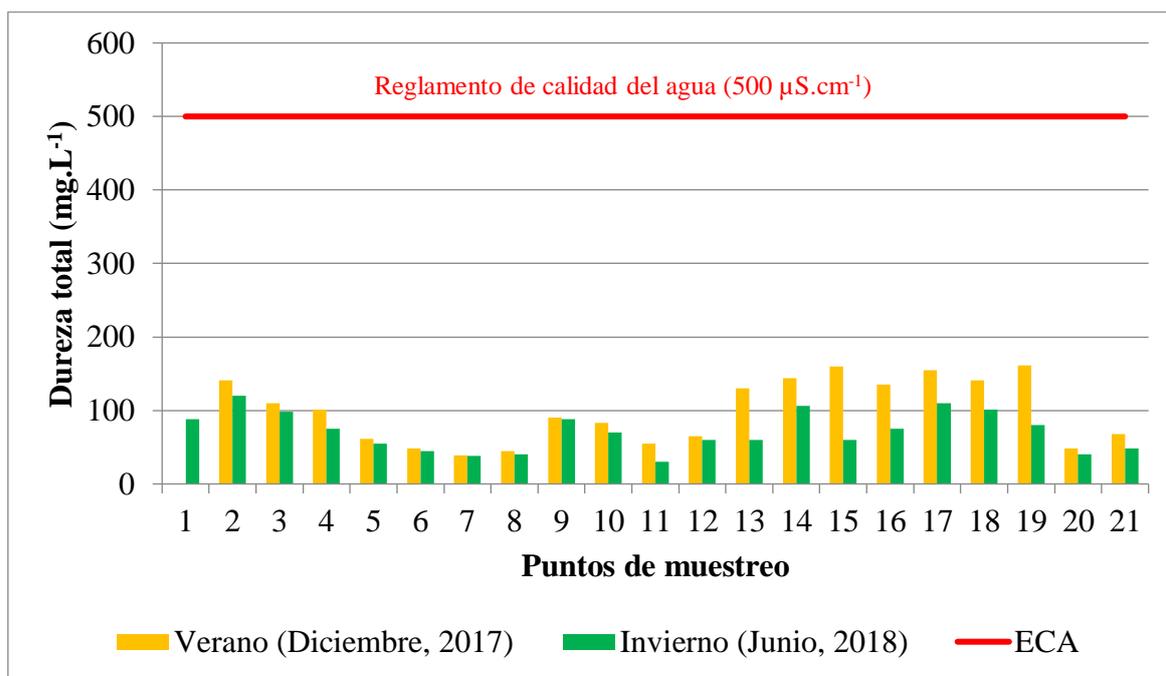


Figura 10. Valores de dureza total del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Valores de dureza total obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (Diciembre, 2017)	Invierno (Junio, 2018)
01	109	88
02	141	120
03	110	98
04	101	75
05	61	55
06	48	45
07	39	38
08	45	40
09	90	88
10	83	70
11	55	30
12	65	60
13	130	60
14	144	106
15	160	60
16	135	75
17	155	110
18	141	101
19	161	80
20	48	40
21	68	48

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Valores de amoniaco obtenidos de las muestras de agua subterránea

La Tabla 9 muestra los valores de amoniaco obtenidos en las muestras de agua subterráneas en los periodos evaluados.

El valor de amoniaco del cuerpo de agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 0,001 mg.L⁻¹ y un valor máximo de 0,15 mg.L⁻¹ correspondientes a los puntos de muestreos 12 y 19 respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo fue en junio del 2018, y presentó un valor mínimo de 0,0012 mg.L⁻¹ y un valor máximo de 0,4 mg.L⁻¹ correspondientes a los puntos 16 y 19 respectivamente.

En la Figura 11 se presenta los valores de amoniaco obtenidos durante las mediciones en laboratorio en las 2 temporadas, los cuales fueron evaluados de acuerdo al Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), la cual considera a este parámetro dentro de los Límites Máximos Permisibles de Parámetros de calidad Organoléptica para aguas subterráneas y superficiales. El valor de amonio presenta el valor máximo de 0,4 mg. L⁻¹ perteneciente al pozo localizado en la zona de La Perlita, seguido de los valores de 0,2 mg.L⁻¹, 0,19 mg.L⁻¹, 0,18 mg.L⁻¹ todos ellos obtenidos en el segundo periodo (diciembre) e inferiores al valor máximo establecidos por el Reglamento de Calidad del Agua para amoniaco (1,5 mg.L⁻¹). El análisis de varianza de los valores de amoniaco en los periodos de diciembre y junio presentaron diferencia significativa (p<0,05) (Apéndice 6).

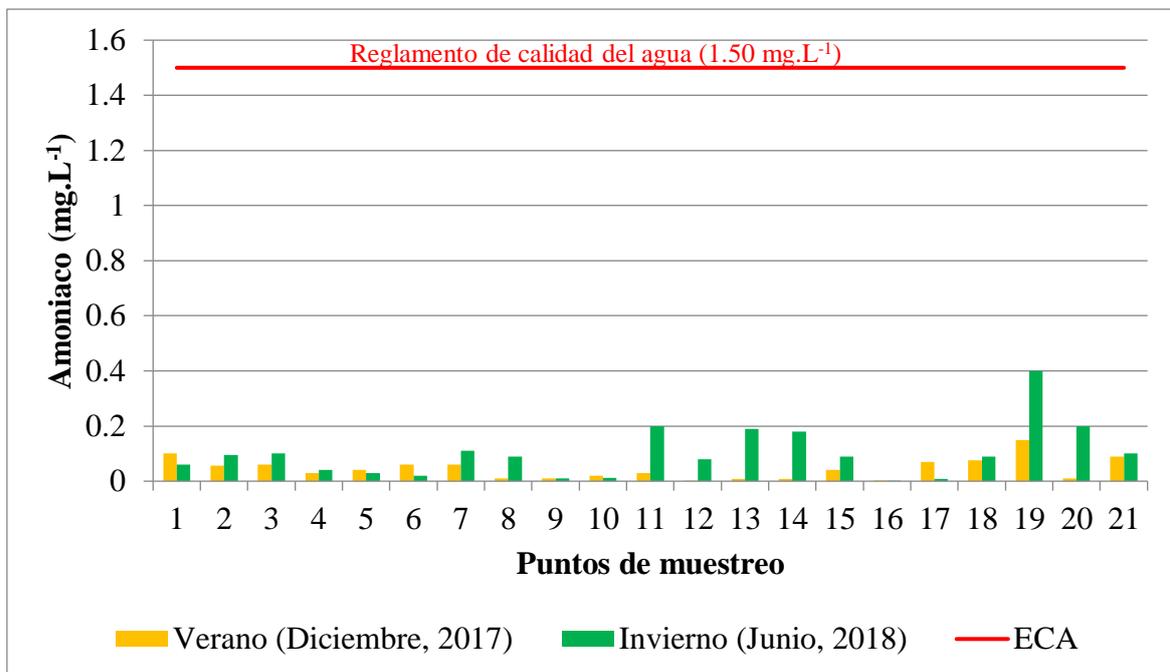


Figura 11. Valores de amoniaco del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Valores de amoniaco obtenidos de las muestras de agua subterránea en 2 periodos (diciembre y junio)

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (Diciembre, 2017)	Invierno (Junio, 2018)
01	0,100	0,06
02	0,057	0,095
03	0,06	0,10
04	0,03	0,04
05	0,04	0,03
06	0,06	0,02
07	0,06	0,11
08	0,01	0,09
09	0,01	0,01
10	0,02	0,011
11	0,03	0,2
12	0,001	0,08
13	0,009	0,19
14	0,009	0,18
15	0,04	0,09
16	0,002	0,0012
17	0,07	0,008
18	0,075	0,09
19	0,15	0,4
20	0,01	0,2
21	0,09	0,1

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Variación temporal de la presencia de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018

La Tabla 10 muestra los valores de arsénico obtenidos en las muestras de aguas subterráneas en los periodos evaluados. El valor de Arsénico en el periodo correspondiente al mes de diciembre del 2017 presentó la concentración mínima de 0,040 mg. L⁻¹ y un valor máximo

de 1,71 mg. L⁻¹ que corresponden a los puntos de muestreo de 01 y 04 respectivamente. La evaluación del agua subterránea en el segundo periodo correspondiente al mes de junio del 2018 presentó un valor mínimo de 0,011 mg.L⁻¹ y un valor máximo de 0,999 mg.L⁻¹ correspondientes a los puntos de muestreos 11 y 14 respectivamente. Todas las mediciones en los dos periodos evaluados superan los límites máximos permisibles establecido en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), la cual considera a este parámetro dentro del valor de 0,01 mg.L⁻¹, tal como se observa en la Figura 12.

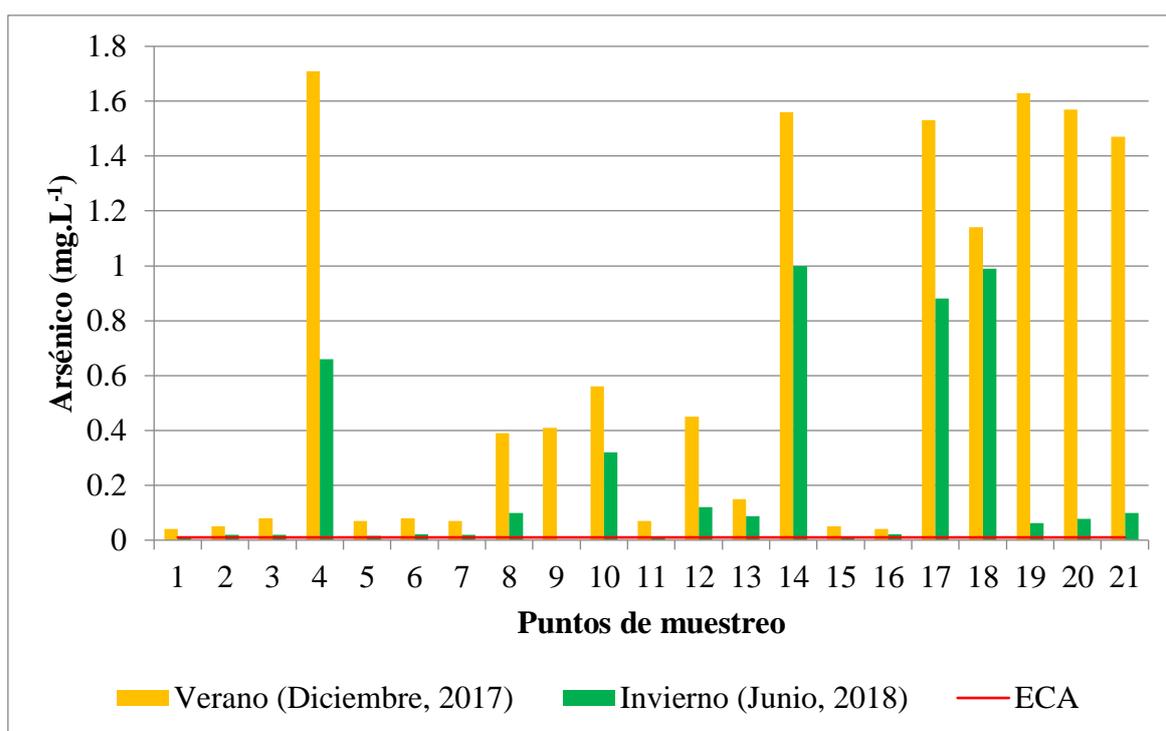


Figura 12. Valores de arsénico del agua en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

El 59,5 % de las mediciones de arsénico hechas en las dos temporadas se encuentran en el rango de 0,011 a 0,32 mg.L⁻¹, seguidas de las concentraciones de 0,39 a 0,56 mg.L⁻¹ con una frecuencia del 11,9 %. Los niveles mayores de arsénico (1,56 a 1,71 mg.L⁻¹) superaron en más de 17 veces el Reglamento de calidad de agua para consumo humano y presentaron una frecuencia del 11,9 %.

Los valores obtenidos de arsénico en las dos temporadas fueron sometidos a la prueba U de Mann Whitney para datos no paramétricos, dando como resultado una variación significativa

($p=0,007$) (Apéndice 6) entre los dos periodos. Asimismo, se corrobora que diciembre fue el periodo que presentó mayor concentración de arsénico.

Tabla 10

Variación temporal de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta- Huaura, Lima

Punto de Muestreo	Periodo de evaluación	
	Verano (diciembre, 2017)	Invierno (junio, 2018)
01	0,04	0,014
02	0,05	0,02
03	0,08	0,02
04	1,71	0,66
05	0,07	0,015
06	0,08	0,022
07	0,07	0,02
08	0,39	0,099
09	0,41	0, 22
10	0,56	0,32
11	0,07	0,011
12	0,45	0,12
13	0,15	0,088
14	1,56	0,999
15	0,05	0,012
16	0,04	0,021
17	1,53	0,880
18	1,14	0,990
19	1,63	0,063
20	1,57	0,077
21	1,47	0,099

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta-Huaura

Se realizó una entrevista a una población de 105 personas presentes en las 21 estaciones de muestreo del distrito de Végueta, de las cuales todos fueron adultos (mayores de 18 años). Se pudo comprobar que el 59,9 % de la población de Végueta se dedica a la agricultura, seguido de servicio (14,2 %) y comercio (9,5 %) como: chofer, expendio de abarrotes, y restaurantes.

Los principales cultivos que se realizan en el lugar, tal como lo expresan los agricultores son: cebolla (*Allium cepa*), fresa (*Fragaria* sp.), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), uva (*Vitis vinífera*), palta (*Persea americana*), durazno (*Prunus pérsica*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y ajo (*Allium sativum*).

En base a la entrevista se realizó la Tabla 11, la cual muestra el resumen del uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta. Los usos que se lograron determinar se muestran en la Figura 13 y fueron: exclusivamente para consumo humano (61,9 %), para consumo humano y de animales domésticos (23,8 %), para uso industrial (4,7 %), para uso exclusivo en el lavado de autos y camiones (4,7 %) y para lavado de autos y consumo humano (4,7 %). No se registró el uso de agua subterránea para riego de vegetales, la cual es realizada con agua superficial.

Todos los pobladores entrevistados que manifestaron consumir agua comunicaron hacerlo sin tratamiento alguno y desconocer las diferentes formas de filtrado de agua.

Tabla 11

Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta 2017-2018

PUNTO DE MUESTREO	ESTACIÓN	USO DEL AGUA
01	El Colorado	Consumo, animales
02	El Colorado	Consumo, animales
03	Guadalupe	Consumo, animales
04	Ruquía	Consumo
05	San Luis	Consumo
06	Mazo	Consumo
07	UCSS-Rest, Externo	Consumo
08	UCSS-Pozo 1	Consumo, animales
09	UCSS-Pozo 2	Consumo, animales
10	Tupac Amarú	Consumo
11	Santa Isabel	Consumo
12	Santa Bárbara	Consumo
13	Santa Cruz Alta	Consumo
14	Santa Cruz Bajo	Uso Industrial
15	La Villa	Lavadero de Carros
16	San Martín	Consumo
17	San Felipe	Lavadero de Carros, Consumo
18	Mar Dorado	Consumo
19	La Perla	Consumo
20	La Florida	Consumo
21	La Muralla	Consumo

Fuente: Elaboración propia.

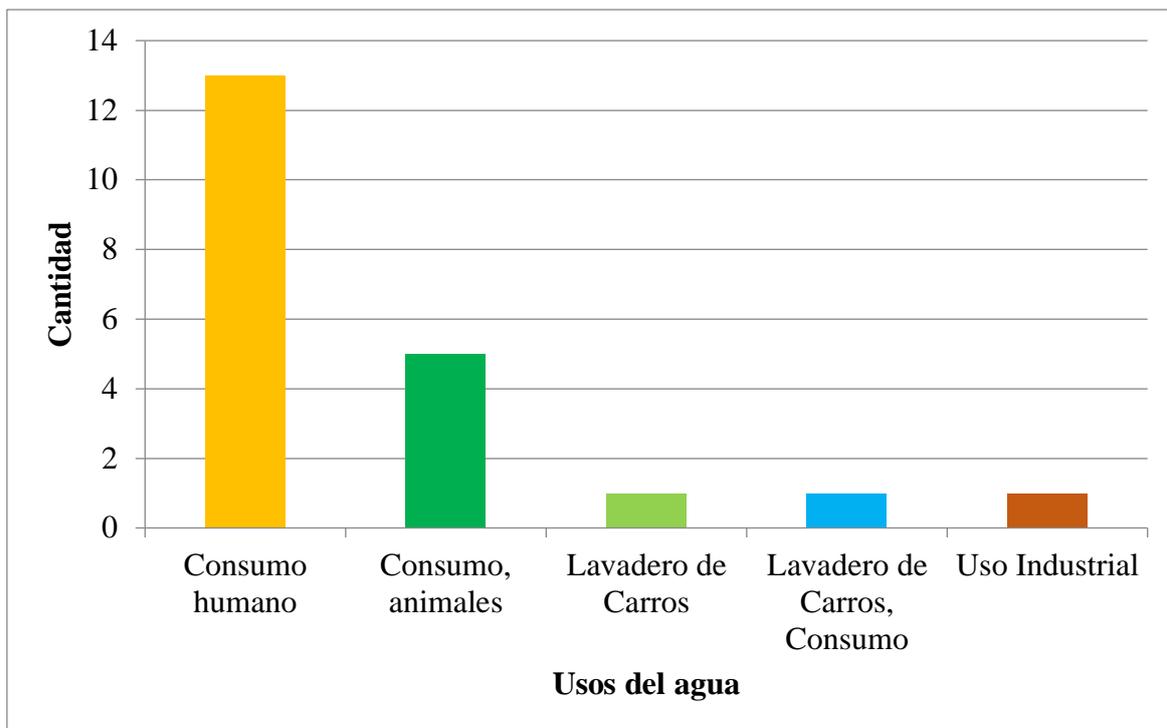


Figura 13. Actividades en las que se emplea el agua de los pozos del distrito de Végueta 2017-2018. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua subterránea en los periodos de diciembre (2017) y junio (2018)

Referente al pH del cuerpo de agua subterránea, Peña *et al.* (2019) obtuvieron valores ligeramente ácidos a alcalinos (6,5 a 8,5) en un muestreo realizado en aguas subsuperficiales del distrito de Sayán y Pachangará, este comportamiento ácido es atribuido a la alta mineralización de rocas intrusivas y la tendencia alcalina que fue ejercida por las rocas sedimentarias como son las calizas. Asimismo, Pérez *et al.* (2010) registraron un pH variable entre 6,90 y 8,20 en la capa freática, en el departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina. Por otro lado, Escalera y Ormachea (2017) obtuvieron valores de pH con rangos 7,12 a 8,24 en aguas subterráneas de zonas suburbanas de Cochabamba, lugares que presentan formaciones geológicas ricas en rocas carbonatadas y dolomitas. En la presente investigación se obtuvieron valores de pH de 6,56 y un valor máximo de 8,45 similares a los obtenidos por Peña *et al.* (2019), esta tendencia a la alcalinidad del pH es atribuida al depósito de rocas calizas sobre toda en la pendiente alta de la provincia tal como lo expresan Villacorta *et al.* (2010) en el estudio geoambiental de la cuenca del río Huaura. Además, en el presente estudio no se encontraron variaciones significativas ($p > 0,05$) de pH en los dos periodos evaluados, por lo que el periodo de lluvias que caracteriza las zonas altas en los meses de diciembre no influyó en la reducción del pH tal como lo refiere Orozco *et al.* (2008).

Con respecto a la temperatura en aguas subterráneas, Villacorta *et al.* (2010) reportaron temperaturas entre 20 y 25 °C para aguas subterráneas en la localidad de Sayán-Lima, relacionándolo a niveles bajos de terreno. A su vez, Orozco *et al.* (2008) reportaron para acuíferos costeros de México valores de temperatura 26 a 28,9 °C. La presente investigación realizada en un distrito costero presentó similares resultados de temperaturas

con registros mínimos de 25,2 y máximos de 28,0 °C, las cuales no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las dos temporadas evaluadas; además, indicar que los pozos estuvieron a profundidades promedio de 2,0 a 22,0 m. Cabe resaltar que la temperatura de los 10 m superiores del subsuelo puede variar según la estación; sin embargo, entre 9 a 18 m se aproxima a la temperatura media del aire de una región particular (Lee *et al.*, 1988). Además, este parámetro es un factor que permite desarrollar diferentes procesos tanto químicos como biológicos.

Referente a la conductividad eléctrica del agua subterránea, Calsin (2016) reportó valores máximos de conductividad de $1636.25 \pm 86.39 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, asociado a una alta cantidad de partículas en suspensión en aguas subterráneas de la provincia de Juliaca, mientras que Peña *et al.* (2019) obtuvo valores superiores a $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en aguas procedentes de fuentes termales altamente mineralizadas en algunas localidades de huacho con alta actividad agrícola, muestreadas en el 2008. Por otro lado, Pérez *et al.* (2010) registraron valores entre 1200 y $7300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en la capa freática, en el departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina. En la presente investigación se obtuvo el valor máximo de conductividad eléctrica de $1520 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para el periodo de diciembre del 2017, siendo este registro superior al que se muestra en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA). Además, se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los periodos de evaluados. Los valores de alta conductividad están relacionados con zonas agrícolas irrigadas con aguas que circulan en medios porosos conformadas por grava y arena con altas concentraciones de sales y que por filtración podrían llegar a estos acuíferos; mientras que las bajas conductividades podrían estar relacionadas por periodos secos y una menor infiltración de aguas como lo reportados en este estudio.

Con respecto al oxígeno disuelto (OD), Flores (2016) determinó valores promedio de este parámetro en $6,69 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para aguas subterráneas con temperatura promedio de 20,5 °C. Valores similares han sido reportados por Pérez *et al.* (2003) en aguas de pozos de México, cuyos rangos varían de 4,6 a $6,9 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a temperaturas promedio de 23,1 °C. En la presente investigación se determinó el valor de $1,0 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para OD en el periodo de junio del 2018 y un valor de $6,0 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para OD en el periodo de diciembre del 2017. Ambos periodos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). Mallard y Hervant (1999) refieren que la

variación del OD en cuerpos de agua subterránea puede sufrir variaciones por diferentes causas siendo una de ellas la temperatura; así, valores bajos de OD están relacionados con temperaturas relativamente altas, tal como se refleja en esta investigación. Otra posible variación del OD podría deberse al confinamiento de las aguas residuales; así aguas residuales estancadas y sin flujo tienen bajas concentraciones de oxígeno, esto se debe a que el agua no está expuesta a aireación y movimientos fuertes por falta de caídas por pendientes internas en los acuíferos del distrito de Végueta, tal como lo refiere Villacorta *et al.* (2010) en su estudio geomorfológico de la cuenca del río Huaura.

Con respecto a la dureza total del cuerpo del agua, Soriano (2018) reportó valores promedio de dureza carbonatada en 336,48 mg.L⁻¹ para aguas subterráneas de pozos del distrito de Pariamarca. Así mismo, INRENA (2005) realizó estudios sobre los acuíferos del distrito de Huacho en la Provincia de Huaura, encontrando valores promedio de 74,15 a 490,98 mg.L⁻¹ que estuvieron dentro del rango de aguas semi-duras a duras respectivamente. En la presente investigación se determinaron valores bajos de dureza carbonatada de 39 mg. L⁻¹ a valores máximos de 161 mg. L⁻¹, estos valores se encuentran por debajo del Límite máximo permisible para aguas superficiales y subterráneas para consumo humano. En cuanto a la variación significativa ($p < 0,05$) encontrada en los periodos evaluados a fines del 2017 y junio del 2018, podría deberse a la disminución de sales carbonatadas debido a las lluvias acumuladas y que se presentaron a fines de diciembre del 2017 y se incrementaron en los meses siguientes del 2018 (Servicio nacional de Meteorología e hidrología del Perú [SENAMHI], 2017; SENAMHI, 2018) y que diluyó las sales cálcicas presentes en las aguas. Además, se ha observado que este parámetro está relacionado fuertemente con la conductividad eléctrica registrada en estas aguas subterráneas, las cuales registra sales ricas en calcio y magnesio causantes de la dureza tal como lo menciona Rodríguez (2009).

Respecto al valor de amoníaco, Umezawa *et al.* (2008) tomaron muestras de agua en pozas de regiones costeras, en donde reportaron para este parámetro valores mínimos de 0,021 a 0,2 mg.L⁻¹; mientras que en la presente investigación se reportó valores de 0,001 a 0,4 mg.L⁻¹ para amoníaco. Todos los resultados de este estudio fueron inferiores al valor máximo establecidos por el Reglamento de Calidad del Agua para amoníaco (1,5 mg.L⁻¹); encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) en las concentraciones de amoníaco en los

periodos evaluados. Muchos autores coinciden que el amoniaco aparece generalmente en forma de trazas en aguas subterráneas, tal como lo muestran estos estudios. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan a aguas subterráneas.

4.2. Variación temporal de la presencia de arsénico en aguas subterráneas del distrito de Végueta-Huaura, en el periodo 2017-2018

La variación de la concentración de arsénico en los periodos evaluados fue significativa ($p < 0,05$), siendo el mes de diciembre el que presenta una mayor cantidad de arsénico en las aguas subterráneas con un valor de $1,71 \text{ mg. L}^{-1}$. A su vez, Peña *et al.* (2019) reportó concentraciones de arsénico en aguas subterráneas y acuíferos de la localidad de Huacho con valores de $0,018$ a $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$. Por su parte, Escalera y Ormachea (2017) registraron 582 mg.L^{-1} de arsénico como la mayor concentración en los pozos estudiados en organizaciones territoriales de Base (OTBs) en los municipios de Colcapirhua y Cercado del valle bajo de Cochabamba, Bolivia. Asimismo, Mora *et al.* (2012) mostraron que en el poblado de Atotonilco en la comunidad de la Tecuala-México, las concentraciones registradas estuvieron comprendidas entre $17,83 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,02 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,88 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$; en Quimichis, entre $18,73 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,76 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $17,80 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$; en el poblado de Playas de Novillero, entre $19,36 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,79 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,79 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y, en Pajaritos, entre $18,20 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ y $21,02 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, con un promedio de $19,88 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Todos los valores mostrados se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecido en el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA), que establece como valor referente para arsénico total el valor de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, similares resultados fueron reportados por Blanes y Giménez (2006). Estos valores reflejan lo extremadamente peligroso de este metaloide para la salud de los habitantes del distrito de Végueta y la provincia de Huaura, por lo que se requiere tomar las precauciones necesarias.

En el distrito de Végueta, los pozos con mayor concentración de arsénico fueron el pozo 04 ($1,71 \text{ mg. L}^{-1}$) ubicado en la localidad de San Luis de Mazo, seguido del pozo 20 ($1,57 \text{ mg. L}^{-1}$) ubicado en la Florida y los pozos 14 ($1,56 \text{ mg. L}^{-1}$) y 17 ($1,53 \text{ mg. L}^{-1}$) ubicados en las localidades de Santa Cruz y San Felipe respectivamente. Estos altos valores de arsénico fueron determinados para el mes de diciembre del 2017. Es importante señalar que el pozo

04 presentó una menor profundidad (2,0 m) a diferencia de los otros pozos y que la concentración de arsénico en el periodo de junio para el mismo pozo fue de 0,66 mg. L⁻¹. Esto puede demostrar que pozos de poca profundidad muestran mayores concentraciones de arsénico y esto podría deberse a una mayor contaminación antrópica de las aguas; así como la disolución de minerales que contienen trazas de este metaloide, tal como lo refiere Chira y Vargas (2010).

Luego del análisis estadístico queda demostrado que la variación de la concentración de arsénico es de índole estacional relacionándose con los periodos de lluvias en la zonas altas y periodos secos en zonas bajas (cercanas al mar) de la provincia. A su vez; la matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos, en relación con la concentración de arsénico, muestran un mediano grado asociación directa ($r=0,011$; $r=0,39$) con el parámetro dureza total, mientras que con los otros parámetros evaluados (temperatura, OD, conductividad eléctrica, amoniaco y pH) no mostraron significancia ($p>0,05$).

4.3. Uso de las aguas subterránea por el poblador del distrito de Végueta-Huaura

En la presente investigación se ha determinado que el principal uso de las aguas subterráneas por el poblador local es para consumo humano, esta información fue extraída de la entrevista realizada en el primer periodo (diciembre del 2017) y verificada en el segundo (junio del 2018), no encontrando variación en cuanto a su uso. Otras investigaciones muestran que el principal uso de las aguas subterráneas es para la agricultura; así Portocarrero (2010) al evaluar la sostenibilidad de las aguas subterráneas de Acarí-Arequipa, reportó un alto empleo de las aguas para esta actividad con valores del 97,45 %. Similar uso es informado por Muñoz (2016) quien realizó un estudio sobre la explotación de los acuíferos de la región Ica, en ella manifiesta que la agricultura local hace usos del 92 % de las aguas subterráneas y que ha conllevado a un deterioro y disminución de este recurso por sobreexplotación. En la presente investigación se ha corroborado por las entrevistas realizadas, que el uso del agua subterránea en zonas visitadas no es para agricultura y que su uso para esta actividad podría estar realizándose en fundos agrícolas que no fueron visitados, toda vez que el sistema de riego por goteo usada en la agricultura presenta mejor beneficio cuando usa este tipo de agua tal como lo refiere Muñoz (2016).

El uso exclusivo de las aguas subterráneas de Végueta con altas concentraciones de arsénico para consumo humano y para animales son potencialmente peligrosos para la salud del poblador local, lo que podría ocasionar afecciones adversas a la salud tal como lo refiere Mendoza *et al.* (2017), quienes evaluaron los riesgos de la salud por consumo de agua con arsénico. En la presente investigación todos los pozos presentaron aguas subterráneas con concentraciones de arsénico muy superiores a lo exigido por la Organización Mundial de la Salud [OMS] y la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental [USEPA] (citados por Mendoza *et al.*, 2017) en el agua potable ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$). Por lo tanto, se debería de implementar procesos de pretratamiento para disminuir la concentración del arsénico de aguas subterráneas para consumo humano y de animales.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. El pH promedio registrado estuvo comprendido dentro del rango 6.56 y 8,45 en ambos periodos de evaluación, los cuales responden a la tendencia alcalina que es ejercida por las rocas sedimentarias como son las calizas.
2. La temperatura del cuerpo de agua subterránea evaluada en el periodo de diciembre del 2017 presentó un valor mínimo de 25,2 °C y un valor máximo de 25,3 °C; mientras que, en junio del 2018, presentó un valor mínimo de 26,5 °C y un valor máximo de 28,00 °C. Estos resultados se deben a los factores climáticos de las zonas costeras.
3. La concentración mínima del oxígeno disuelto fue 1,0 mg.L⁻¹ y la máxima de 6,0 mg.L⁻¹ en el periodo estudiado, el cual es apto para la sobrevivencia de muchas especies acuáticas.
4. La variabilidad de la dureza total estuvo comprendido entre 30 y 161 mg.L⁻¹, los cuales, básicamente, se relacionan con las características geológicas del área estudio: en investigaciones anteriores indicaron que esta zona es rica en sales conteniendo calcio y magnesio, especial.
5. La concentración mínima de amoníaco fue 0,001 mg.L⁻¹ y la máxima de 0,4 mg.L⁻¹, cuya variabilidad, depende en mayor medida, a la agricultura intensiva que se desarrolla en el distrito.

6. Se determinó la presencia de arsénico en las aguas subterráneas de los 21 pozos evaluados, presentando una variación significativa ($p < 0,05$) de la concentración de arsénico en los 2 periodos analizados, siendo diciembre (2017) el que registró una mayor cantidad de arsénico con un valor máximo de $1,71 \text{ mg. L}^{-1}$. Todos los valores de arsénico mostrados se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S N° 031-2010-SA). Esto podría estar relacionada con la actividad minera que se encuentra en la zona alta de la Unidad Hidrográfica, que al momento de la percolación las aguas hayan tenido contacto con yacimientos de sulfuros, además de la contaminación con aguas residuales y de riego.

7. En el 100 % de los pozos estudiados, el arsénico ha superado el límite aceptable y como tal, considerando que un 61,90 % de estos son utilizados como fuente de agua para consumo humano, representa un peligro inminente para la salud de las personas

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los diferentes órganos gubernamentales que prioricen y viabilicen Proyecto de agua potable segura y sin metales pesados para el distrito de Végueta, con la finalidad de asegurar la calidad de vida de los pobladores.
- Se recomienda realizar un estudio para determinar las causas antropomórficas de la presencia de este metaloide que podrían estar afectando su incremento en aguas subterráneas cercanas.
- Se recomienda informar a la población sobre los peligros de la toxicidad del arsénico en aguas de riego y de bebida para humanos y animales, para evitar la bioacumulación y posible toxicidad.
- Se recomienda dar a conocer a través de charlas los resultados de este estudio a la población afectada, autoridades y demás personas interesadas. Los resultados que dieron positiva la presencia de Arsénico
- Se recomienda a los pobladores del distrito de Végueta el uso de filtros purificadores de agua, con la finalidad que las trazas de este metaloide se queden en los poros de los filtros.
- Se recomienda implementar un Plan de Sensibilización a los usuarios, autoridades locales, Instituciones Educativas y a la Junta Administradora de los Servicios de Saneamiento-JASS.

REFERENCIAS

- Alarcón, T., Llorens, E. y Poch, M. (2012). *Remoción de Arsénico del Agua para Consumo Humano en Latinoamérica*. (1° ed.) México, Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzado.
- American Public Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. España, Madrid: Díaz de Santos.
- Accostupa, Q. G. y Mamani, T. R. (2012). *Análisis fisicoquímico del agua subterránea para consumo humano, cuantificación de elementos químicos altamente tóxicos; arsénico, cromo, cadmio, plomo por el método espectrofotométrico de absorción atómica en el distrito de Anta*. (Tesis de grado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2005). *Reseña Toxicológica del Arsénico*. Estados Unidos, Atlanta: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007). *Resumen de Salud Pública: Arsénico*. Estados Unidos, Atlanta: División de Toxicología y Medicina Ambiental. CAS N° 7440-38-2.
- Akinbile, C. y Haque, A. (2012). Arsenic contamination in irrigation water for rice production in Bangladesh: A Review. *Trends in Applied Sciences Research*, 7 (5), 331-349.
- Apaza, R. y Calcina, M. (2014). Contaminación natural de aguas subterráneas por Arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno. *Revista de Investigación Altoandina*, 16 (1), 51-8. DOI: 10.18271/ria.2014.35.
- Azizur, M., Hasegawa, H. y Lim, R. (2012). Bioaccumulation, biotransformation and trophic transfer of arsenic in the aquatic food chain. *Environmental Research*, 116, 118-135.
- Bartram, J. y Ballance, R. (1996). *Water Quality Monitoring: A practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Inglaterra, Londres: United Nations Environment Programme and the World Health Organization.

- Basu, A., Saha, D., Saha, R., Ghosh, T. y Saha, B. (2014). A review on sources, toxicity and remediation technologies for removing arsenic from drinking water. *Research on Chemical Intermediates*, 40, 447-485.
- Baz, L. (2019). *Contaminantes emergentes. Impacto sobre la salud y el medio ambiente*. (Trabajo fin de grado). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Benham, Brian (2002). *A Glossary of Water-Related Terms*. Estados Unidos, Virginia: Virginia Cooperative Extension.
- Biswas, B., Chakraborty, A., Chatterjee, D., Pramanik, S., Ganguli, B., Majumdar, K., Nriagu, J., Kulkarni, K., Bansawal, A., Labhassetwar, P. y Bhowmick, S. (2021). Arsenic exposure from drinking water and staple food (rice): A field scale study in rural Bengal for assessment of human health risk. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 228, 1-8.
- Blanes, P. y Giménez, M. (2006). Evaluación de los Niveles de Hierro y Arsénico en Aguas Naturales Subterráneas de la Región Centro-Oeste de la Provincia del Chaco - Argentina. *Información tecnológica*, 17(3), 3-8.
- Buchanan, C. (1983). Ground Water Quality and Quantity Assessment. *J. Ground Water*. pp. 193-200.
- Bundschuh, J. y Litter, M. (2009). *Situación del arsénico en la región Ibérica e Iberoamericana: posibles acciones articuladas e integradas para el abatimiento del As en zonas aisladas*. Argentina, Buenos Aires: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Bundschuh, J., Pérez, A. y Litter, M. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. Argentina, Buenos Aires: CYTED.
- Caballero, P., Carrillo, J., Gomez, R. y Jerez, M. (2010). Presencia de arsénico en pozos y en cultivos en Oaxaca, México. *Agronomía Mesoamericana*, 21 (1), 177 - 184. Recuperado en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=437/43713870018>.
- Calsin, R. 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, Puno – 2016*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Carabantes, A. y Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 39 (4), 365-372.

- Centro de Investigación en Geografía Aplicada. (1993). *Estudio geomorfológico-hidrológico de un sector de la Irrigación San Felipe, Valle de Huaura*. Lima: Centro de Asistencia a Proyectos de Estudios Rurales. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Cerón, C., Moreno, M. y Olías, M. (2005). *Contaminación y tratamiento de aguas*. España, Huelva: Universidad de Huelva.
- Chira, J. y Vargas, L. (2010). *Caracterización química del agua y sedimentos*. Perú, Lima: INGEMMET.
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Reglamento de la calidad de agua para consumo humano. Ministerio de Salud, Lima, Perú, 24 de setiembre de 2010.
- Díaz, C., Esteller, M. y López, F. (2006). *Recursos hídricos: conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. México, Montevideo: RIPDA-CYTED.
- Duker, A., Carranza, E. y Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environment international*, 31, 631-641. DOI: 10.1016/j.envint.2004.10.020.
- Emsley, J. (2001). *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements*. New York: Oxford University.
- Escalera, R. y Ormachea, M. (2017). Hidroquímica de la presencia natural de arsénico en aguas subterráneas de áreas suburbanas de Cochabamba-Bolivia y evaluación de la viabilidad técnica de procesos de remoción. *Investigación & Desarrollo*, 1 (17), 27-41.
- Flores, C. J. C. (2016). *Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas de consumo humano con y sin ebullición de zonas aledañas a la Universidad Nacional de Cajamarca*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- George, C., Sima, L., Jahuir, H., Mihalic, J., Cabrera, L., Danz, D., Checkley, W. y Gilman, R. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat. *Bull World Health Organ*, 92, 565-572.

- Gillispie, E., Sowers, T., Duckworth, O. y Polizzotto, M. (2015). Soil pollution due to irrigation with arsenic-contaminated groundwater: Current state of science. *Current Pollution Reports*, 1, 1-12
- Hasegawa, H., Matsui, M., Okamura, S., Hojo, M., Iwasaki, N. y Sohrin, Y. (1999). Arsenic speciation including “hidden” arsenic in natural waters. *Applied Organometallic Chemistry*, 13, 113-119.
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill: México.
- Howd, R. y Fan, A. (2007). *Risk assessment for chemical in drinking wáter*. New York: wiley & sons.
- Infante, L. y Palomino, S. (1994). *Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Rio Rímac*. (Tesis de grado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2005). *Inventario y monitoreo de las aguas subterráneas en el valle Huaura*. Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/2037/ANA0000888.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda* [Archivos de datos]. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Jimenez C. J. J. (2017). *Abastecimiento de agua subterránea con fines de uso agrícola para el fundo La Empedrada Agroindustrial La Punta S.A.C. - Huaura - Lima*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Krumova, K., Nikolovska, M. y Groudeva, V. (2008). Isolation and identification of arsenic-transforming bacteria from arsenic contaminated sites in Bulgaria. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 22 (2):721-728.
- Larios, J., González, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2 (2), 09-25.

- Lee, M., Thomas, J., Borden, R., Bedient, P., Ward, C., Wilson, J. y Conway, R. (1988). Bioremediation of aquifers contaminated with organic compounds. *Critical Reviews in Environmental Control*, 18 (1), 29-89.
- Li, Y., Ji, L., Mi, W., Xie, S. y Bi, Y. (2021). Health risks from groundwater arsenic on residents in northern China coal-rich region. *Science of The Total Environment*, 773, 1-9.
- Lin, H. (2010). Earth's critical zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 25 - 45.
- López, J., Fornés, J., Ramos, G. y Villarroya, F. (2009). *Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo*. España, Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- López, M. (2018). *Metaloides*. (Examen de suficiencia). Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú.
- Machado, I., Bühl, V. y Mañay, N. (2019). Total arsenic and inorganic arsenic speciation in groundwater intended for human consumption in Uruguay: Correlation with fluoride, iron, manganese and sulfate. *Science of The Total Environment*, 681, 497-502.
- Mallard, F. y Hervant, F. (1999). Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater. *Freshwater Biology*, 41, 1-30.
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M. y Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35 (1), 93-102.
- Mendoza, O., Sánchez, R., Barrón, J., Cuevas, H., Escalante, P. y Solano, R. (2017). Riesgos potenciales de salud por consumo de agua con arsénico en Colima, México. *Salud Pública de México*, 59 (1), 34 - 40.
- Ministerio de Energía y Minas. (1998). *Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la Cuenca del Rio Huaura*. Dirección General de Asuntos Ambientales. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/huaura/huaura5.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*. Biblioteca Nacional, Perú.

- Ministerio del Ambiente. (2016). *Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas*. Proyecto Fortalecimiento del Sistema de Gestión Integral de Sitios Contaminados. Cooperación Triangular México – Perú – Alemania.
- Mora, D., Sánchez, L., Del Razo, L., González, C., Medina, I., Robledo, M. y Rojas, A. (2012). Presencia de arsénico y coliformes en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28 (2), 127-135.
- Muñoz, I. (2016). Agroexportación y sobreexplotación del acuífero de Ica en Perú. *Anthropologica*, 37, 115-138
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). *GRAPHIC: Aguas subterráneas y cambio climático*. Programa Hidrológico Internacional.
- Organización Internacional del Trabajo. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Organización Mundial de la Salud. (1978a). *Environmental Health Criteria 6: Principles and methods for evaluating the toxicity of chemicals*. Italia, Geneva: World Health Organization
- Organización Mundial de la Salud. (1978b). *Primary health care*. Italia, Geneva: World Health Organization
- Organización Mundial de la Salud. (1979). *Agreed terms on health effects evaluation and risk and hazard assessment of environmental agents*. Italia, Geneva: World Health Organization
- Organización Mundial de la Salud. (1980). *Glosario de la OMS sobre la contaminación atmosférica*. Dinamarca, Copenhague: World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *A glossary of terms for community health care and services for older persons*. Japan, Kobe: World Health Organization.

- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Mitigación de los Efectos del Arsénico Presentes en las Aguas Subterráneas*. Recuperado de http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB118/B118_14-sp.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2008). *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization.
- Orozco, M., Ramírez, F. y Cruz, J. (2008). Aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos de la costa de Chiapas (México). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 348 – 354.
- Paredes, R. J. L. (2012). *Remoción de arsénico del agua para uso y consumo humano mediante diferentes materiales de adsorción*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Peña, F., Renou, F., Condori, E., Sánchez, M. y Pari, W. (2019). *Hidrogeología de la cuenca del río Huaura (13756) - Región Lima*. Perú, Lima: INGEMMET
- Peregrino, I. C. P. (2016). *Caracterización y cuantificación de las especies de arsénico presentes en acuíferos que abastecen de agua potable a la Ciudad de Chihuahua*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, México.
- Pérez, A., Boochs, P., Billib, M., Wessels, J. y Fernández, A. (2010). *Distribución de arsénico en agua superficial y subterránea en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina*. Argentina, Córdoba: III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua.
- Pérez, F., Prieto, F., Rojas, A., Galán, C., Marmolejo, Y., Romo, C., Castañeda, A., Rodríguez, J. y Barrado, E. (2003). Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Hidrobiológica*, 13 (2), 95-102.
- Portocarrero, W. D. (2010). *Manejo sostenible del agua subterránea con fines de riego en el valle de Acari*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Ramírez, A. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: actualización bibliográfica para investigación científica. *Anales de la Facultad de Medicina*, 74 (3), 237-248.

- Rangel, E., Montañez, L., Luévanos, M. & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33 (2), 103-118.
- Rebollo, L. y Loeches, M. (2007). Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15, 240-249.
- Resolución Ministerial N° 200-2021-MINEM/DM. Inventario inicial de Pasivos Ambientales Mineros. Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú, 30 de junio de 2021.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Revista Pensamiento Actual*, 12-13, 125-134.
- Rodríguez, V. M. I. (2017). *Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: el caso de la albúfera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura*. (Tesis de grado). Universidad Pontificia Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9410/Rodriguez_Vasquez_Variaci%c3%b3n_humedales_costeros1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Romero, A; Flores, S. y Pacheco, W. (2010). Contaminación por metales pesados del río Santa. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 13 (25), 61-69.
- Santos, B. y Peña, F. (2016). *Modelo Hidrogeológico de las Albúferas de Medio Mundo, Sector Huaura*. XVIII Congreso Peruano de Geología. Perú, Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Sepúlveda, S. (2009). El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *Ciencia UANL*, 7 (3), 239-244.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2017). *Avisos meteorológicos a nivel nacional*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico-detalle&a=2018&b=045&c=022&d=SENA>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2018). *Avisos meteorológicos a nivel nacional*. Recuperado de

<https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico-detalle&a=2018&b=045&c=022&d=SENA>

- Sharp, J. (2007). *A Glossary of Hydrogeological Terms*. Estados Unidos, Texas: The University of Texas, Austin, Texas.
- Solgi, E. y Jalili, M. (2021). Zoning and human health risk assessment of arsenic and nitrate contamination in groundwater of agricultural areas of the twenty two village with geostatistics (Case study: Chahardoli Plain of Qorveh, Kurdistan Province, Iran). *Agricultural Water Management*, 255, 1-11.
- Soriano, D. M. (2018). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el centro poblado Pata Pata – 2018*. (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Suárez, M., González, F., González, D., Rubio, C. y Hardisson, D. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. *Cuadernos de Medicina Forense*, 35, 5-14.
- Tchounwou, P., Wilson, B. y Ishaque, A. (1999). Important considerations in the development of public health advisories for arsenic and arsenic-containing compounds in drinking water. *Environmental Health*, 14 (4), 211-229.
- Umezawa, Y., Hosono, T., Onodera, S., Siringan, F., Buapeng, S., Delinom, R. y Taniguchi, M. (2008). Fuentes de contaminación por nitratos y amonio en las aguas subterráneas en las megaciudades asiáticas en desarrollo. *Science of the Total Environment*, 404 (2-3), 361-376.
- Vélez, C. Y. J. (2017). *Mejoramiento de la calidad del agua de pozo a partir de un tratamiento fisicoquímico para su utilización como agua de consumo humano en el distrito de Végueta 2015-2016*. (Tesis de grado). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú.
- Villacorta, S., Chira, J., Ochoa, M., Sánchez, M., Pari, W. y Valencia, M. (2010). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Huaura*. Perú, Lima: INGEMMET.
- Wong, M. (2000). *Procedimiento normalizado de operación para la determinación de arsénico por el método dietilditiocarbamato de plata*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Informe LA04003.1

TERMINOLOGÍA

Agua subterránea: Agua que llena huecos, grietas u otros espacios entre partículas de arcilla, limo, arena, grava o roca dentro de una zona o formación saturada (acuífero) debajo de la superficie del suelo (Benham, 2002, p. 4).

Arroyo: Un cuerpo de agua que fluye que generalmente está confinado a un canal o canales específicos (Sharp, 2007, p.52).

Bioacumulación: Acumulación de determinadas sustancias químicas en tejidos de organismos vivos de manera directa o a través de la cadena alimenticia, alcanzando concentraciones mayores que en el ambiente al que está expuesto. Usualmente se refiere a la acumulación de metales, pero el concepto también aplica a las sustancias orgánicas persistentes, como los compuestos organoclorados (MINAM, 2012, p. 50).

Bioconcentración: Un proceso que lleva a una mayor concentración de un producto químico en el organismo en relación con su medio ambiente (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1979).

Biomagnificación: “El aumento en la bioacumulación de una sustancia a lo largo de la cadena trófica. Algunos productos químicos tienden a acumularse a lo largo de la cadena trófica presentando concentraciones sucesivamente mayores al ascender en misma” (MINAM, 2012, p. 50).

Canal (curso de agua): Conducto abierto creado de forma natural o artificial que contiene agua en movimiento de forma periódica o continua, o que forma un vínculo de conexión entre dos cuerpos de agua. Río, arroyo, arroyo, recorrido, tramo, rama y afluente son algunos de los términos utilizados para describir los canales naturales (Benham, 2002, p. 2).

Carcinógeno: Un agente, químico, físico o biológico, que puede actuar sobre el tejido vivo de tal manera que cause una neoplasia maligna (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1980, p. 25).

Capilaridad: La acción por la cual el agua sube (o baja) en relación con la superficie del agua debido a la interacción entre las moléculas de agua y los sólidos del medio poroso. Se refieren al movimiento de un fluido en un medio poroso debido a esta interacción; esto también se llama imbibición (Sharp, 2007, p.10).

Ciclo hidrológico: la circulación del agua sobre, sobre y debajo de la superficie de la Tierra (Sharp, 2007, p. 27).

Concentración: La cantidad de un determinado químico o contaminante en un volumen o peso particular de aire, agua, suelo u otro medio, a menudo expresada como miligramos por litro (mg.L^{-1}) o partes por millón (ppm) (Benham, 2002, p. 2).

Contaminación: Cualquier aspecto de la calidad del agua (física, térmica, química o biológica) que interfiera con el uso previsto (Sharp, 2007, p. 39).

Cuenca hidrográfica: El área de tierra drenada por un solo arroyo o río o, en el caso del karst, drenada por una sola dolina o grupo de dolinas. Cuenca y captación son términos equivalentes (Sharp, 2007, p. 59).

Dureza (del agua): Se calcula como la sumatoria de los equivalentes de iones polivalentes y normalmente se expresa como equivalente concentración de CaCO_3 . El incremento de la cantidad de jabón suficiente para generar espuma (Sharp, 2007, p. 24).

Efectos crónicos: Efectos que se desarrollan lentamente y tienen una larga duración. A menudo, pero no siempre, son irreversibles. Algunos efectos irreversibles pueden aparecer mucho tiempo después de que la sustancia química estaba presente en el tejido sensible. Para estos efectos retardados o tardíos, el período latente (o el "tiempo de ocurrencia" de un efecto observable) puede ser muy largo, especialmente si el nivel de exposición es bajo (OMS, 1979).

Eliminación (en el metabolismo): La expulsión de una sustancia u otro material del cuerpo (o una parte definida de la misma), generalmente por un proceso de extrusión o exclusión, pero a veces a través de la transformación metabólica (OMS, 1979).

Embalse: Un embalse de agua superficial detrás de una presa o depresión artificial; una formación subsuperficial porosa y permeable o parte de una formación que contiene una acumulación natural, individual y separada de hidrocarburos (petróleo o gas) (Sharp, 2007, p. 43).

Enfermedad aguda: Enfermedad que se caracteriza por un episodio único o repetido de inicio relativamente rápido y corta duración a partir del cual el paciente suele volver a su estado o nivel de actividad normal o anterior (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2004, p.7)

Enfermedad crónica: Una enfermedad que tiene una o más de las siguientes características: es permanente; deja discapacidad residual; es causado por alternancia patológica irreversible; requiere entrenamiento especial del paciente para la rehabilitación; o se puede esperar que requiera un largo período de supervisión, observación o cuidado (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006, p.14).

Erupción freática: Erupción volcánica que consiste principalmente en vapor. Estos son causados por las interacciones del magma con el agua subterránea (Sharp, 2007, p.38).

Escorrentía: Agua de precipitación, deshielo o irrigación que corre sobre la superficie de la Tierra; agua superficial que ingresa a ríos, lagos o embalses (Sharp, 2007, p.44).

Humedales: Tierras de transición entre sistemas terrestres y acuáticos donde el nivel freático suele estar en la superficie o cerca de ella, o la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Los humedales son aquellas áreas donde la saturación de agua es el factor dominante que determina la naturaleza del desarrollo del suelo y los tipos de comunidades de plantas y animales que viven en el medio ambiente circundante (Benham, 2002, p. 9).

Impermeable: Impermeable a un fluido; un material con permeabilidad cero. Sinónimo con impermeable. (Sharp, 2007, p. 28).

Infiltración: El movimiento del agua desde la superficie de la tierra hacia el subsuelo (Sharp, 2007, p. 28).

Ingesta: La cantidad de una sustancia o material que se toma en el cuerpo, independientemente de si se absorbe o no. La ingesta diaria puede expresarse como la cantidad tomada por una vía de exposición particular, por ejemplo, la ingestión o la inhalación. La ingesta diaria de alimentos es la cantidad total de una sustancia dada tomada durante un día a través del consumo de alimentos. La ingesta diaria por inhalación se calcula multiplicando la concentración de la sustancia (o agente) en el aire por la cantidad total de aire inhalado durante un día (24 horas). La ingesta diaria total es la suma de la ingesta diaria de un individuo de alimentos, agua potable y aire inhalado (OMS, 1979).

Intercambio de aniones: Proceso químico en el que los iones negativos de una sustancia química se reemplazan preferentemente por iones negativos de otra sustancia química (Benham, 2002, p. 1).

Léntico: Relativo a aguas tranquilas como lagos, embalses, estanques y pantanos (Sharp, 2007, p. 31).

Metaloide: elementos químicos con propiedades intermedias entre no metales y metales (López, 2018).

Nivel freático: Una superficie en o cerca de la parte superior de la zona freática (zona de saturación) donde la presión del fluido es igual a la presión atmosférica. En el campo, el nivel freático se define por el nivel de agua en los pozos que apenas penetran en la zona freática (saturada) (Sharp, 2007, p.59).

No confinado: Se refiere a un acuífero que tiene un nivel freático e implica un contacto directo desde el nivel freático hasta la atmósfera (a través de la zona vadosa) (Sharp, 2007, p. 57).

Permeabilidad: Una medida de la facilidad con la que los líquidos o gases se mueven a través del suelo u otro material poroso. La permeabilidad es una característica del medio del suelo y no depende del tipo de fluido que se transmita (Benham, 2002, p. 6).

Porosidad: La relación del volumen de espacios abiertos o vacíos al volumen total de un material. Por ejemplo, un depósito de arena y grava puede tener un 20% de porosidad. La

porosidad determina la cantidad de agua que se puede almacenar en una formación saturada. Una formación saturada de 100 pies de espesor con una porosidad del 20% podría almacenar una profundidad de agua equivalente de aproximadamente 20 pies (Benham, 2002, p. 6).

Precipitación: Agua que se condensa de la atmósfera y cae en gotas o partículas (por ejemplo, nieve, granizo, aguanieve) a la superficie de la tierra; formación de un sólido a partir de materia disuelta o suspendida (Sharp, 2007, p. 40).

Potable: El agua potable se puede consumir de forma segura (Sharp, 2007, p. 40).

Pozo: Cualquier excavación artificial construida para el propósito de explorar o producir agua subterránea (Benham, 2002, p. 9).

Recarga de agua subterránea: El proceso en el que el agua ingresa a la superficie del suelo y finalmente alcanza la zona saturada. La recarga varía de un lugar a otro debido a la cantidad de lluvia, la tasa de infiltración y la vegetación de la superficie (Benham, 2002, p. 4).

Riesgo: La probabilidad de que ocurra un evento, por ejemplo, que un individuo se enferme o muera dentro de un período de tiempo o edad establecido. Además, un término no técnico que abarca una variedad de medidas de probabilidad de un resultado (generalmente) desfavorable (Last, 1988, p. 217).

Río: Corriente natural de agua de volumen considerable, más grande que un arroyo o riachuelo (Benham, 2002, p. 7).

Salinidad: La cantidad de solutos (materiales disueltos) en el agua [ppm, mg /milimoles/L]; sólidos totales disueltos (TDS) (Sharp, 2007, p. 45).

Salud: Un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no sólo la ausencia de enfermedad o enfermedad (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1978b).

Toxicidad: La toxicidad de una sustancia es la capacidad de causar lesiones a un organismo vivo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1978a). Una sustancia altamente tóxica causará daño a un organismo si se administra en cantidades muy pequeñas y una sustancia de baja toxicidad no producirá un efecto a menos que la cantidad sea muy grande. Sin

embargo, la toxicidad no puede definirse en términos cuantitativos sin hacer referencia a la cantidad de sustancia administrada o absorbida, la forma en que se administra esta cantidad (por ejemplo, inhalación, ingestión, inyección) y se distribuye en el tiempo (por ejemplo, dosis únicas o repetidas), el tipo y la gravedad de la lesión y el tiempo necesario para producir el daño (OMS, 1979).

Zona de saturación: Genéricamente se considera equivalente a la zona freática. Es la zona en la superficie de la Tierra debajo del nivel freático y la porción saturada de la franja capilar en la que todo el espacio poroso está generalmente saturado con agua líquida. (Sharp, 2007, p.46).

APÉNDICES

Apéndice 1

Análisis de varianzas (ANOVA) para pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,408	1	0,408	2,326	0,135
Dentro de grupos	7,018	40	0,175		
Total	7,426	41			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2

Análisis de varianzas (ANOVA) para temperatura

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,408	1	0,408	2,326	0,135
Dentro de grupos	7,018	40	0,175		
Total	7,426	41			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3

Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de conductividad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	896,095	1	896,095	4,221	0,047
Dentro de grupos	8492,190	40	212,305		
Total	9388,286	41			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4

Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de oxígeno disuelto

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,292	1	7,292	8,130	0,007
Dentro de grupos	35,876	40	0,897		
Total	43,168	41			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5

Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de dureza total

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	8628,667 ^a	1	8628,667	6,866	0,012
Interceptación	304470,857	1	304470,857	242,285	0,000
PERIODOS	8628,667	1	8628,667	6,866	0,012
Error	50266,476	40	1256,662		
Total	363366,000	42			
Total corregido	58895,143	41			

Nota. a. R al cuadrado = 0,147 (R al cuadrado ajustada = 0,125). *Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 6

Análisis de varianzas (ANOVA) para concentración de Amoniaco

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,044	1	0,044	8,868	0,005
Dentro de grupos	0,196	40	0,005		
Total	0,240	41			

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7

Resultado de la prueba de Mann-Whitney a los valores obtenidos de arsénico en las dos temporadas

	<i>Hipótesis nula</i>	<i>Prueba</i>	<i>Sig.</i>	<i>Decisión</i>
1	La distribución de arsénico es la misma entre las categorías de PERIODOS.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes.	0.007	Rechace la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 8

Resultados de las correlaciones de Pearson a las variables cuantitativas

		pH	Conductividad	Oxígeno	Amoniaco	Dureza	Arsénico
pH	Correlación de Pearson	1	-0,061	0,077	0,016	0,456**	0,291
	Sig. (bilateral)		0,699	0,628	0,920	0,002	0,062
	N	42	42	42	42	42	42
conductividad	Correlación de Pearson	-0,061	1	0,431**	-0,295	0,305*	0,193
	Sig. (bilateral)	0,699		0,004	,058	0,049	0,221
	N	42	42	42	42	42	42
oxígeno	Correlación de Pearson	0,077	0,431**	1	-0,686**	0,069	0,052
	Sig. (bilateral)	0,628	0,004		0,000	0,664	0,742
	N	42	42	42	42	42	42
amoniaco	Correlación de Pearson	0,016	-0,295	-0,686**	1	-0,175	-0,122
	Sig. (bilateral)	0,920	0,058	0,000		0,267	0,443
	N	42	42	42	42	42	42
dureza	Correlación de Pearson	0,456**	0,305*	0,069	-0,175	1	0,389*
	Sig. (bilateral)	0,002	0,049	0,664	0,267		0,011
	N	42	42	42	42	42	42
arsénico	Correlación de Pearson	0,291	0,193	0,052	-0,122	0,389*	1
	Sig. (bilateral)	0,062	0,221	0,742	0,443	0,011	
	N	42	42	42	42	42	42
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	1,000**	-0,061	0,077	,016	0,456**	0,291
	Sig. (bilateral)	0,000	0,699	0,628	0,920	0,002	0,062
	N	42	42	42	42	42	42

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 9

Encuesta de consumo de aguas subterráneas en la localidad de Végueta- Huaura.

Encuesta N°	Fecha:
Edad del encuestado:	Tipo de actividad que realiza:
Preguntas:	
1. Cuál es el uso del agua de pozo	
• Sólo para consumo humano ()	• Consumo humano animales domésticos () • Uso industrial ()
• Uso para lavados de autos y camiones ()	• Uso para lavados de autos. Camiones y consumo humano () • Otros ()
2. Realiza el tratamiento del agua de pozo	
Si ()	No ()
3. Conoce algún tipo de contaminación de las aguas de pozo	
Si ()	No ()
Cual....	
4. Conoce algún tipo de tratamiento de agua	
Si ()	No ()
Cual....	

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 10

Registro fotográfico



Figura 14. Análisis in situ de las muestras de agua subterráneas extraídas de los pozos subterráneos. Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 15. Toma de muestra de uno de los pozos subterráneos en estudio. Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 16. Análisis de Arsénico en el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la UCSS. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 17. Primeros resultados de la determinación cuantitativa de Arsénico en las muestras de agua subterránea, con Espectrofotómetro pFotoFlex STD - WTW. *Fuente:* elaboración propia.



Figura 18. Cuantificación de concentración de arsénico. (1) Se está añadiendo 20 ml de ácidos sulfúrico al 97 %. *Fuente:* elaboración propia.

Apéndice 12

Cadena de custodia: junio, 2018.



Av. Gonzales Prada S/N. Urb. Villa Los Angeles
Distrito de Los Olivos

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
Cadena de custodia

Aguja

Solicitante: **JENYFER RAUL MARQUEZ IGNACIO**
Dirección: **HUACHO SIN**
Contacto: **DLA. ARMANDO CHULLUA SALAZAR**
e-mail: **achullua@gmail.com**

Proyecto/Programa: **PROYECTO DE TESIS-UCSS**
Dpto.: **LIMA**

No. Oficio/ Memo: Junio, 2018

Responsable del muestreo:

Firma:

Código de Laboratorio (1)	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Matriz (3)	Origen de la fuente (4)	Puntos de muestreo	N° de frascos por punto de muestreo	Volumen total (ml)	Parámetros Físico - Químicos (2)		Parámetros Biológicos (2)		Observaciones	Preservante agregado	
									PH	Cond. de Hrdad. térmica	Temperatura ambiental	Temperatura de frasco			Arterico
PM-01	06/06/18	08:00	AT	El colorado	Pozo Comunal	1	1	1	X	X	X	X			
PM-02	06/06/18	08:30	AT	El colorado	Familia Ortiz	1	1	1	X	X	X	X			
PM-03	06/06/18	08:35	AT	Guatemala	Pozo Comunal	1	1	1	X	X	X	X			
PM-04	06/06/18	08:35	AT	Ruqetica	Pozo Comunal	1	1	1	X	X	X	X			
PM-05	06/06/18	07:15	AT	Sin Latis	Pozo Comunal	1	1	1	X	X	X	X			
PM-06	06/06/18	07:25	AT	Mozzo	Familia Gonzales	1	1	1	X	X	X	X			
PM-07	06/06/18	07:24	AT	UCSS-Externo	Familia Villalobos	1	1	1	X	X	X	X			
PM-08	06/06/18	08:10	AT	UCSS-Pozo 1	UCSS-Pozo 1	1	1	1	X	X	X	X			
PM-09	06/06/18	08:15	AT	UCSS-Pozo 2	UCSS-Pozo 2	1	1	1	X	X	X	X			
PM-10	06/06/18	08:44	AT	Tupac Amaru	JASS-Tupac Amaru	1	1	1	X	X	X	X			
PM-11	06/06/18	08:55	AT	Sta. Isabel	Pozo Comunal	1	1	1	X	X	X	X			
PM-12	06/06/18	09:10	AT	Sta. Bárbara	Familia Sta. Bárbara	1	1	1	X	X	X	X			
PM-13	06/06/18	09:35	AT	Sta-Cruz Alta	Familia Cameros	1	1	1	X	X	X	X			
							Sub-total	13							
							Total								

(1) Campo exclusivo para el laboratorio
(2) Ver lista de parámetros del laboratorio y requisitos de manipulación y conservación, según el correo electrónico o teléfono indicados.
(3) AF(Agua Freatil), AR(Agua Residual), AS(Agua Superficial), AT(Agua Subterránea), AM(Agua de Mar), AL(Agua Pluvial), EF(Efluente), VE(Ventilador), SE(Sedimentos), BV(Blanco Vajero), DP(Duplicado), BC(Blanco de Campo), BE(Blanco de Equipo), BF(Blanco de Frasco)
(4) Ejemplo para matriz AS origen de la muestra: Río Carriñas. Para todos detallar por punto de muestreo: localidad, distrito, provincia, departamento (deputes de los frascos y/o logo aparte)

Comentarios	
Si	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de recipiente adecuado:	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Muestras dentro del periodo de análisis:	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Conservación de las muestras:	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Entregado por: **Jenyfer Marquez**
 Recibido por: **Armando Chullua**
 Entregado por:
 Recibido por:

