



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y METALES PESADOS EN
AGUAS DEL ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO Y EL
ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ALTO
DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Diego Wilman De La Cruz Paredes

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

ASESOR:

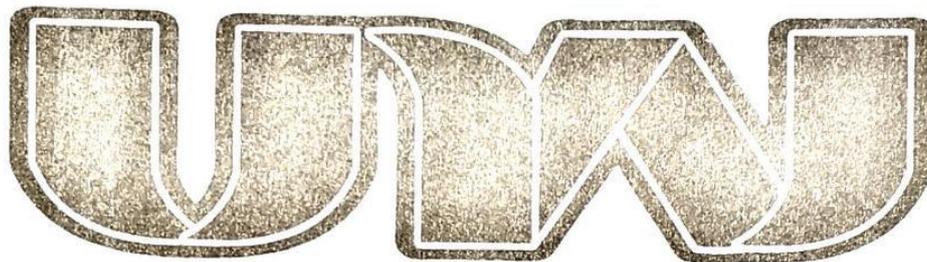
Dr. Wile Mamani Navarro



JULIACA - 2021



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



**“PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y METALES PESADOS EN
AGUAS DEL ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO Y EL
ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ALTO
DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

Bach. Diego Wilman De La Cruz Paredes

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

**ASESOR:
Dr. Wile Mamani Navarro**



JULIACA - 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y METALES PESADOS EN
AGUAS DEL ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO Y EL
ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ALTO DE LA CIUDAD
DE JULIACA”**

Bach. Diego Wilman De La Cruz Paredes

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor:

Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca - 2021

De La Cruz, D. (2021). *Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca*. (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Diego Wilman De La Cruz Paredes

TÍTULO: Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2021

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (92 pp)

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

CÓDIGO: 03-00007-02/D331

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro

PALABRAS CLAVE:

Acuíferos, calidad del agua, metales pesados, pozos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**

**“PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y METALES PESADOS EN
AGUAS DEL ACUÍFERO FISURADO SEDIMENTARIO Y EL
ACUÍFERO POROSO NO CONSOLIDADO ALTO DE LA CIUDAD
DE JULIACA”**

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

Presentada por:

Bach. Diego Wilman De La Cruz Paredes

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Gustavo M. Pacheco Pacheco
PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Eliana Mullisaca Contreras
JURADO (Secretario)



2º MIEMBRO

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



3º MIEMBRO



Dr. Wile Mamani Navarro
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Juliaca, al grupo de Investigación Ach2O, a mi familia, a mi asesor, a los miembros del jurado y a todas las personas que colaboraron en el desarrollo de la presente investigación.

Diego W. De La Cruz Paredes.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Situación problemática	4
1.2. Preguntas de investigación científica.....	5
1.2.1. Pregunta general	5
1.2.2. Preguntas específicas	6
1.3. Objetivos de investigación científica.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Justificación	6
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Marco referencial.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.1.3. Antecedentes regionales y locales	12
2.2. Marco teórico	13
2.2.1. Aguas subterráneas	13
2.2.2. Acuíferos.....	13
2.2.3. El Agua	14
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Ámbito de estudio y periodo.....	20
3.2. Tipo y diseño de investigación	20
3.3. Población y muestra.....	20
3.4. Hipótesis de investigación	23
3.4.1. Hipótesis general.....	23
3.4.2. Hipótesis específicas.....	23

3.5.	Equipos y materiales	23
3.6.	Reactivos.....	23
3.7.	Determinación de parámetros físico químicos.....	24
3.8.	Determinación de metales pesados	24
3.9.	Análisis de la Información	25
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES		27
4.1.	Parámetros físico químicos	27
4.1.1.	pH.....	27
4.1.2.	Conductividad eléctrica	30
4.1.3.	Turbiedad	33
4.2.	Metales pesados	36
4.2.1.	Arsénico	36
4.2.2.	Cadmio.....	39
4.2.3.	Hierro	43
4.2.4.	Manganeso	46
4.2.5.	Plomo	48
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		51
5.1.	Conclusiones.....	51
5.2.	Recomendaciones	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		53
ANEXOS		64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Límites máximos admisibles para el agua destinada a consumo humano.....	19
Tabla 2	Coordenadas, códigos de campo y tipo de pozo de los puntos de monitoreo.	21
Tabla 3	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para pH.....	28
Tabla 4	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para pH.....	29
Tabla 5	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para pH.....	29
Tabla 6	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para conductividad eléctrica.....	31
Tabla 7	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para conductividad eléctrica.....	32
Tabla 8	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para conductividad eléctrica.....	32
Tabla 9	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para turbiedad.....	34
Tabla 10	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para turbiedad.....	35
Tabla 11	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para turbiedad.....	35
Tabla 12	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para arsénico	37

Tabla 13	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para arsénico.....	38
Tabla 14	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para arsénico	38
Tabla 15	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para cadmio	40
Tabla 16	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para cadmio	42
Tabla 17	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para cadmio	42
Tabla 18	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para hierro	44
Tabla 19	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para hierro	45
Tabla 20	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para hierro	45
Tabla 21	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para maganeso	47
Tabla 22	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para plomo.....	49
Tabla 23	Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para plomo.....	50
Tabla 24	Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para plomo.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo para el acuífero poroso no consolidado y el acuífero fisurado sedimentario.....	22
Figura 2. Gráfica de barras de los resultados de pH en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	27
Figura 3. Gráfica de barras de los resultados de pH en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	28
Figura 4. Gráfica de barras de los resultados de conductividad eléctrica en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	30
Figura 5. Gráfica de barras de los resultados de conductividad eléctrica en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	31
Figura 6. Gráfica de barras de los resultados de turbiedad en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	33
Figura 7. Gráfica de barras de los resultados de turbiedad en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	34
Figura 8. Gráfica de barras de los resultados de arsénico en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	36
Figura 9. Gráfica de barras de los resultados de arsénico en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	37
Figura 10. Gráfica de barras de los resultados de cadmio en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	40
Figura 11. Gráfica de barras de los resultados de cadmio en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	41
Figura 12. Gráfica de barras de los resultados de hierro en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.....	43

Figura 13. Gráfica de barras de los resultados de hierro en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	44
Figura 14. Gráfica de barras de los resultados de manganeso en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje	46
Figura 15. Gráfica de barras de los resultados de manganeso en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	47
Figura 16. Gráfica de barras de los resultados de plomo en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje	48
Figura 17. Gráfica de barras de los resultados de plomo en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.....	49
Figura 18. Muestreo de las aguas subterráneas.....	65
Figura 19. Determinación de pH y georreferenciación de puntos de monitoreo.	65
Figura 20. Almacenamiento y preservación de muestras para traslado a laboratorio. ...	66
Figura 21. Determinación de parámetros físico químicos.	66
Figura 22. Determinación de metales pesados por espectroscopía de absorción atómica mediante flama	67
Figura 23. Determinación de As por el método de absorción atómica mediante generación de hidruros.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Panel fotográfico	65
ANEXO II: Matriz de consistencia.....	68
ANEXO III: Informe de ensayo de parámetros físico químicos y metales pesados.....	69
ANEXO IV: Normatividad referente a límites máximos permisibles de aguas para consumo humano (DS N° 031-2010-SA)	73
ANEXO V: Detalle técnico metodológico para la determinación de metales pesados por EAA.....	75

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, turbiedad y conductividad eléctrica) y metales pesados (As, Cd, Fe, Mn y Pb) en aguas subterráneas provenientes del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca, y su idoneidad para consumo humano. El estudio se realizó en época de estiaje (octubre 2019) y de avenida (marzo 2020). En total, 12 muestras de agua fueron analizadas (06 por cada acuífero). Los datos obtenidos fueron tratados por la prueba t de Student para muestras independientes (diferencia entre acuíferos) y t de Student para muestras apareadas (diferencia entre épocas). Los resultados muestran que el pH se encontró en el rango permitido por la Organización Mundial de la Salud y que algunos valores obtenidos para la turbiedad y la conductividad eléctrica sobrepasan estos límites, mientras que; en cuanto a la concentración de metales pesados, el cadmio y plomo superaron en grandes cantidades los límites recomendados, con medias aritméticas de 47.25 $\mu\text{g} / \text{L}$ y 1346.87 $\mu\text{g} / \text{L}$ respectivamente, por otro lado, se obtuvieron valores máximos de 0.30 mg Fe /L y 0.99 mg Mn / L; el arsénico no superó los 10 $\mu\text{g} / \text{L}$. Se concluye que no existen diferencias significativas para los valores de los parámetros físico químicos, el arsénico y el manganeso en ambos acuíferos y épocas; las mayores concentraciones de cadmio y plomo fueron obtenidas en el acuífero poroso no consolidado alto en la época de estiaje; el hierro se presentó con mayores concentraciones en el acuífero fisurado sedimentario en la época de avenida. Finalmente se catalogan a las aguas como no aptas para consumo humano debido a sus altas concentraciones de cadmio y plomo.

Palabras clave: Acuíferos, calidad del agua, metales pesados, pozos.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the physicochemical parameters (pH, turbidity and electrical conductivity) and heavy metals (As, Cd, Fe, Mn and Pb) in groundwater from the cracked sedimentary aquifer and the upper unconsolidated porous aquifer of the city. of Juliaca, and its suitability for human consumption. The study was carried out in the dry season (October 2019) and flood season (March 2020). In total, 12 water samples were analyzed (06 for each aquifer). The data obtained were treated by Student's t test for independent samples (difference between aquifers) and Student's t test for paired samples (difference between epochs). The results show that the pH was in the range allowed by the World Health Organization and that some values obtained for turbidity and electrical conductivity exceed these limits, while; regarding the concentration of heavy metals, cadmium and lead exceeded the recommended limits in large quantities, with arithmetic means of 47.25 $\mu\text{g} / \text{L}$ and 1346.87 $\mu\text{g} / \text{L}$ respectively, on the other hand, maximum values of 0.30 mg Fe / L and 0.99 mg Mn / L were obtained; arsenic did not exceed 10 $\mu\text{g} / \text{L}$. It is concluded that there are no significant differences for the values of the physical-chemical parameters, arsenic and manganese in both aquifers and seasons; the highest concentrations of cadmium and lead were obtained in the upper unconsolidated porous aquifer in the dry season; iron was presented with higher concentrations in the fissured sedimentary aquifer in the flood season. Finally, the waters are classified as unfit for human consumption due to their high concentrations of cadmium and lead.

Keywords: Aquifers, water quality, heavy metals, wells.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población (Sierra, 2011), no solo es esencial para la agricultura, la industria y el crecimiento económico, sino que también es un componente importante del medio ambiente que tiene impactos significativos en la salud humana y la conservación de la naturaleza (Zereg et al., 2018).

El agua subterránea es un recurso clave en el mundo, ya que representa el 97% de toda el agua dulce, que es aproximadamente el 0.61% del agua de todo el mundo, incluidos los océanos y el hielo permanente (Li & Liu, 2018) que es ampliamente utilizado como fuente de agua potable y para las actividades de desarrollo de la población urbana debido a la escasez de agua superficial y las fallas recurrentes de los administradores locales de agua (Prasad et al., 2019; Jia et al., 2018). El agua subterránea actualmente ocupa una posición relevante y estratégica en la propuesta de diversas actividades socioeconómicas. Además, también representa un recurso natural que requiere mayor atención por parte de las autoridades competentes (Mattos et al., 2018) y la importancia de la caracterización química del agua subterránea se justifica en el uso demoleador de estas fuentes en el consumo humano, aspecto que se enlaza de manera estrecha con la salud de la población (Inocencio et al., 2013). Algunos estudios sobre la composición química del agua subterránea para uso urbano indican que ésta puede ser una fuente de intoxicación por contaminantes químicos, entre ellos el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), boro (B), cromo (Cr), vanadio (V), hierro (Fe), manganeso (Mn) y otros (Das, 2003; Hamadoun et al., 2004; Velázquez et al., 2011).

La presente investigación estudia la variación de los valores en los parámetros fisicoquímicos y en las concentraciones de metales pesados de las aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca. También se evalúa la idoneidad para consumo humano, debido a que la mayoría de la población no es consciente al riesgo que se expone al consumir estas aguas en sus actividades diarias, puesto que pueden presentar graves efectos sobre la salud si se excede los límites permitidos (Giri & Singh, 2015; Naz et al., 2016).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

El agua subterránea contiene una variedad de componentes químicos en diferentes concentraciones de los cuales la mayor parte de los constituyentes presentes provienen de minerales solubles en suelos y rocas sedimentarias (Islam et al., 2014), además de procesos naturales como la erosión y meteorización de las rocas (Kumar et al., 2016; Kumar et al., 2009; Odukoya, 2015); asimismo puede provenir de fuentes antropogénicas debido a la contaminación difusa que proviene de muchas fuentes (Azzellino et al., 2019; Ranjan et al., 2018), ya que el flujo subterráneo puede actuar como medio de transporte de los contaminantes (Escrig & Morell, 1996).

Dentro de estos componentes químicos presentes en aguas destacan los metales como el Cu, Mn, Ni, Zn, etc. que son micronutrientes y son esenciales para los organismos vivos. Sin embargo, puede volverse tóxico si está presente más allá de un cierto límite. Los metales como As, Cd, Cr y Pb son tóxicos y no tienen un papel beneficioso conocido (Chaturvedi et al., 2019; Kole et al., 2013), asociando un alto riesgo de cáncer para la exposición oral de Cd y As (Bodrud, Didar, et al., 2019); el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) son los más abundantes y a menudo se presentan en el agua subterránea debido a los grandes depósitos en la superficie de la tierra (Edet et al., 2011; Islam et al., 2017), la presencia de Fe en exceso en el agua subterránea puede causar un sabor metálico inusual y puede crear enfermedades si se ingiere más allá del límite permitido (Ahmed et al., 2019; Rahman & Gagnon, 2014), el Mn puede causar diferentes trastornos neurológicos (OMS, 2011) y también es responsable del daño en el ADN y la alteración cromosómica que crean efectos tóxicos para el embrión y el feto (Bodrud, Bhuiyan, et al., 2019; Gerber et al., 2002). El comportamiento ambiental de los metales traza en los sistemas de aguas subterráneas (p. Ej., Movilidad y biodisponibilidad) depende no solo de las

condiciones hidrológicas e hidrogeoquímicas específicas (Koh et al., 2016; Wang et al., 2016) sino también de la especiación de los metales traza (es decir, fase coloide y fase disuelta) y el cambio sistémico en la matriz porosa (Wen et al., 2019; Woessner, 2000).

A nivel nacional, el recurso hídrico está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son fundamentalmente el vertimiento de efluentes y residuos sólidos contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como las prácticas agrícolas inadecuadas, la deforestación, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica y la sobreexplotación de aguas provenientes de acuíferos (Ordoñez, 2011), la poca accesibilidad al agua en muchas ciudades obliga a los pobladores a tomar las decisiones de abastecerse con agua subterránea, reportándose en estudios anteriores la presencia de arsénico en concentraciones que quintuplican lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (George et al., 2014).

La evaluación confiable de los peligros o riesgos derivados de los problemas de contaminación del agua subterránea y el diseño de técnicas eficientes y efectivas para mitigarlos requieren la capacidad de predecir el comportamiento de los contaminantes químicos en las aguas subterráneas que fluyen (Pye & Kelley, 1984) ya que este comportamiento está relacionado a la hidrogeología y temporalidad; es por eso que se pretende realizar la presente investigación haciendo hincapié en responder a la pregunta que si es que hay una diferencia entre los parámetros físico químicos y las concentraciones de metales en las aguas y los acuíferos de los cuales son extraídas y si estas a su vez están dentro de los límites establecidos por la OMS.

1.2. Preguntas de investigación científica

1.2.1. Pregunta general

¿Cuáles son los parámetros físico químicos y metales pesados de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?

1.2.2. Preguntas específicas

¿En qué valores se encuentran los parámetros físico químicos de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?

¿En qué concentraciones se encuentran los metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?

1.3. Objetivos de investigación científica

1.3.1. Objetivo general

Determinar los parámetros físico químicos y metales pesados de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

1.3.2. Objetivos específicos

Cuantificar los valores de los parámetros físico químicos de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.

Evaluar la concentración de metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.

1.4. Justificación

La presente investigación compara los parámetros físico químicos y las concentraciones de metales pesados entre los dos tipos de acuíferos en la ciudad de Juliaca en dos épocas delimitadas por la presencia de precipitaciones pluviales para complementar la información e investigaciones existentes, dado que resulta de mucha utilidad la variabilidad espacio - temporal de los recursos hídricos, más aún si estos están relacionados con el uso poblacional.

Se proporciona una base de datos sólida para una alerta de prevención a la población sobre la calidad físico química y la concentración de metales pesados en las aguas

subterráneas de la ciudad de Juliaca, la importancia de la caracterización química del agua subterránea se justifica en el uso demoleador de estas fuentes en el consumo humano, aspecto que se enlaza de manera estrecha con la salud de la población.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes internacionales

Qiao et al. (2020), recolectaron 130 muestras de agua subterránea que comprenden 116 de aguas subterráneas poco profundas y 14 de aguas subterráneas profundas en la llanura de Guanzhong en China. Las muestras de agua se analizaron para determinar los niveles de As y otros 12 metales pesados (Al, Cd, Mn, Cr, V, Fe, Ni, Cu, Zn, Co, Pb y Mo). Los resultados mostraron que las concentraciones de As y otros metales pesados en las muestras de aguas subterráneas profundas eran más bajas que los límites seguros, pero las concentraciones de Cr en algunas muestras de aguas subterráneas poco profundas excedieron los límites seguros. Las evaluaciones de riesgo para la salud mostraron que las muestras de aguas subterráneas profundas no tenían riesgos para la salud no cancerígenos asociados, mientras que las muestras de aguas subterráneas poco profundas tenían riesgos para la salud no cancerígenos debido a la contaminación con Cr y As. Algunas muestras de aguas subterráneas poco profundas tenían riesgos de salud cancerígenos asociados debido a la contaminación con Cr y As, mientras que las muestras de aguas subterráneas profundas solo tenían riesgos de salud cancerígenos debido a la contaminación con Cr. Estos resultados sugieren que los residentes locales y los departamentos gubernamentales deben estar al tanto de la contaminación por Cr y As en las aguas subterráneas poco profundas.

Ravindra y Mor (2019), investigó la calidad del agua subterránea de Chandigarh mediante la recolección de 80 muestras de agua subterránea de diferentes profundidades que variaban entre 10 pies y 1200 pies. Estas muestras se analizaron para detectar una posible contaminación con contaminantes metálicos como Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mg, Ni, Pb, V, Zn. La interpolación geoespacial

de los contaminantes identificó prácticas sanitarias deficientes de manejo de desechos, actividades agrarias y contaminación industrial como las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas. La evaluación de riesgos para la salud del agua subterránea de Chandigarh indicó impactos en la salud no cancerígenos debido a la contaminación de As, Cr, Co, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e impactos cancerígenos en la salud por As, Cd, Cr, Cu, Pb. El estudio sugiere que las aguas subterráneas también deben monitorearse regularmente para detectar la contaminación por metales, ya que la sobreextracción, la industrialización, la eliminación de desechos sólidos municipales y las actividades informales de reciclaje de desechos electrónicos aumentan los riesgos para la salud pública en países de todo el mundo, que enfrentan problemas similares de contaminación ambiental de las aguas subterráneas.

Anim et al. (2019), evaluaron la idoneidad del agua subterránea para el consumo y la irrigación, y su riesgo potencial para la salud de los humanos en la cuenca de Atankwidi en Ghana. Se tomaron muestras de 26 perforaciones y se determinaron sus constituyentes físico-químicos y de metales pesados. También se calcularon la clorinidad, la salinidad, los índices de permeabilidad, la relación de adsorción de sodio, el bicarbonato residual y la dureza de magnesio para evaluar la idoneidad de las aguas subterráneas para el riego. Los resultados mostraron que cuatro y nueve muestras tenían concentraciones de As, Zn y Pb que excedían los límites respectivos recomendados por la OMS de 0.001 mg / L, 0.006 mg / L y 0.01 mg / L. Los índices de calidad del agua revelaron que aproximadamente el 80% de las aguas subterráneas eran potables. En general, se encontró que el agua subterránea era adecuada para el riego, especialmente para cultivos moderados tolerantes a la sal, como el maíz, el mijo, el sorgo, la pimienta, los tomates, el repollo, etc.

Ranjan et al. (2018), encontraron que el agua subterránea del distrito de Saharanpur, Uttar Pradesh (India) estaba enriquecida con Fe y contaminada con elementos traza y tóxicos como Al, As, B, Cu, Mn y Pb. El arsénico excedió las pautas de la OMS (2011) y el estándar (10 $\mu\text{g} / \text{L}$) para el 30% de las muestras de agua subterránea. Para B, se encontró que el 46% de las muestras tenían una concentración superior al límite admisible (1000 $\mu\text{g} / \text{L}$) y 3% a los valores de referencia de la OMS. El nivel de plomo excedió el valor estándar y el valor de

referencia de la OMS (2011) en el 46% de las muestras. El origen de Fe, Mn y Pb se asocia de manera mixta, tales como las fuentes geogénicas y las actividades antropogénicas. El boro y el Cu fueron dotados por actividades antropogénicas, mientras que el As se derivó de las fuentes geogénicas. La parte norte del área de estudio tiene una mayor concentración de Pb y Mn que la parte sur asociada con pequeñas actividades industriales. Concluyendo que la calidad general del agua subterránea en el área norte es pobre y puede causar un riesgo potencial para la salud de los tubos tubulares analizados para la población local si el agua se consume durante más tiempo.

Sarkar y Shekhar (2018), decidieron hacer una distribución espacial del hierro en el sistema de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca superior de Yamuna evaluando el vínculo entre la contaminación por hierro en el agua subterránea y el agua de los ríos con otros contaminantes para identificar sus fuentes teniendo en cuenta que la agricultura y la urbanización extensivas han llevado a la liberación de varios contaminantes en el río y en el sistema de aguas subterráneas en la cuenca del alto Yamuna y que la concentración de hierro en el agua tiene su incidencia en la salud humana. El análisis reveló que las muestras poseían concentraciones de hierro con rangos desde 0.04 a 1.2 mg / L en ríos; similarmente en agua subterránea se observó desde 0.04 a 4 mg / L con un total del 13 % de muestras que sobrepasaban el límite de 0.3 mg / L de la OMS.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Belizario y Del Carpio (2018), analizaron el recurso hídrico en el distrito de la Punta de Bombón, el agua que se provee a la población tiene como fuente pozos subterráneos; dichas aguas son solo desinfectadas, encontraron concentraciones elevadas de arsénico y manganeso que sobrepasan los límites máximos permisibles. En el Pozo 02 se obtuvieron valores de arsénico (0.10 mg / L) y Manganeso (0.86 mg / L), estos valores no suelen tener variaciones a lo largo del año, en ambos casos los resultados de caracterización sobrepasan a los valores límites establecidos por el Ministerio del Ambiente en la normativa legal Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua del 2017- MINAN. Finalmente optaron por implementar un tratamiento de tipo convencional para la remoción arsénico y manganeso basados en los procesos de: oxidación -

adsorción/coagulación-decantación y filtración; seleccionando al permanganato de potasio KMnO_4 (oxidante), zeolita natural del tipo clinoptilolita (Adsorbente) y cloruro férrico FeCl_3 (Coagulante).

Carmona (2018), determinó la presencia de plomo y la dureza cálcica en 21 muestras de agua de consumo humano, en la zona de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho. Utilizó el método de la Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito, encontrándose 0.0046 mg / L de concentración promedio de plomo, con valores que oscilan entre 0.001 y 0.019 mg Pb / L. El 19.0 % de las muestras analizadas superó el límite máximo permisible (0.010 mg Pb / L), establecido para el plomo en agua de consumo humano según la Organización Mundial de la Salud mientras que la dureza cálcica promedio presenta 370.86 mg CaCO_3 / L con valores que oscilan entre 104.25 y 1173.25 mg CaCO_3 / L. El 28.57 % de muestras analizadas superaron el límite máximo permisible (500 mg CaCO_3 / L), establecido para la dureza cálcica en agua de consumo humano según la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Lima – Perú

Gonzales (2018), evaluaron la calidad de agua para consumo humano en el asentamiento humano Señor de los Milagros, distrito de Yarinacocha determinando cierto número de parámetros: coliformes termotolerantes y totales; temperatura, pH, turbiedad, conductividad, TDS, cloro residual libre, plomo, zinc, boro, aluminio, bario, cromo, cadmio, manganeso, molibdeno, cobre, hierro, sodio y níquel; llevándose a cabo monitoreos en la época de creciente: meses de agosto y diciembre. En el asentamiento humano se identificó cuatro fuentes de abastecimiento provenientes de agua subterráneas, donde se identificó dos puntos de monitoreo. Mostrando que ambos pozos no se encuentran apta para el consumo humano por no contar con cloro residual libre, la presencia de coliformes totales y coliformes termotolerantes, pero que no se evidencia afectación de aguas subterráneas por metales, a excepción del hierro (Fe) en el pozo uno el cual supera en 0.042 mg Fe / L, con respecto al LMP; lo cual está dentro de los niveles normales presentes en la naturaleza de la zona en estudio; el Manganeso tuvo los valores de 0.028 y 0.017 mg / L; mientras que el plomo tenía valores inferiores a 0.007 mg / L.

2.1.3. Antecedentes regionales y locales

Curo (2017), analizó parámetros fisicoquímicos, coliformes totales y termotolerantes en 12 pozos con fines de consumo humano en cuatro parcialidades del distrito de Huata, provincia de Puno en los meses de diciembre 2016 – febrero 2017, utilizando métodos de la Norma Técnica Peruana (2001), y el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS. 031-2010 DIGESA, obteniendo como resultado en hierro 1.2 mg / L y 0.9 mg / L en Collana I, que se debe a la presencia de lluvias; en cobre de 5.0 mg / L en Collana I y 2.2 mg / L en Faón, si presentaron diferencia significativa entre las parcialidades; superando los límites máximos permisibles según el Reglamento de la calidad de Agua para el Consumo Humano D.S. N° 031-2010 S.A. DIGESA.

Calsín (2016), determinó parámetros físicos: sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad, temperatura; parámetros químicos: pH, dureza total, cloruros, nitratos y sulfatos; y parámetros bacteriológicos: coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterotróficas en aguas subterráneas de 70 pozos (32 artesanales y 38 tubulares) en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca; obteniéndose $1636.25 \pm 86.39 \mu\text{S} / \text{cm}$ y $1082.18 \pm 81.79 \mu\text{S} / \text{cm}$ de conductividad total en pozos artesanales y en pozos tubulares respectivamente, dureza total de $628.91 \pm 48.78 \text{ mg} / \text{L}$ en pozos artesanales y $438.91 \pm 45.33 \text{ mg} / \text{L}$ en pozos tubulares, concluyendo que estas aguas superan los límites máximos y no son aptas para consumo humano.

George et al (2014), evaluaron la concentración de arsénico en aguas superficiales y subterráneas en 12 distritos del Perú, que fueron analizadas con el kit Arsenic Econo-Quick y comparadas posteriormente en laboratorio por medio de una espectrofotometría de masas de plasma con acoplamiento inductivo. Dentro de los cuales se tomaron 20 muestras provenientes del agua subterránea en Caracoto con una media de $67.0 \mu\text{g} / \text{L}$, con valores que variaban desde los $31.9 \mu\text{g} / \text{L}$ a los $113.1 \mu\text{g} / \text{L}$; 27 muestras en la Urbanización Néstor Cáceres Velázquez -Juliaca con una media de $51.7 \mu\text{g} / \text{L}$ y un rango desde 1.6 a $154.8 \mu\text{g} / \text{L}$; 48 muestras en la Urbanización Taparachi – Juliaca con un rango de concentraciones desde 1.2 a $193.1 \mu\text{g} / \text{L}$ y una media de $62.0 \mu\text{g} / \text{L}$. Obteniéndose concentraciones hasta cinco veces mayores a las recomendadas por la Organización Mundial de la Salud,

suponiendo una amenaza para la salud pública que requiere mayor investigación y acción.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas subterráneas

El agua subterránea se origina a partir de la profunda infiltración de lluvia y agua superficial. En términos generales, el agua subterránea fluye lentamente a través de formaciones geológicas y permanece en contacto con minerales a menudo aislados de la atmósfera. Debido al aislamiento parcial con respecto a la superficie de la Tierra y el largo tiempo de residencia en los acuíferos, el agua subterránea tiene una inercia mucho mayor que las aguas superficiales, tanto en términos de renovación de recursos (cantidad) como de vulnerabilidad a contaminantes (calidad). Tanto el agua superficial como la subterránea son utilizadas por los humanos como suministro de agua (Price et al., 2003).

La composición química natural del agua subterránea resulta de dos procesos principales: la concentración por evaporación de las sales atmosféricas provenientes de aerosoles marinos, polvo y sales disueltas en el agua de lluvia; y la interacción del agua con minerales y sustancias del suelo (Jordana & Batista, 2004).

2.2.2. Acuíferos

Un acuífero es una unidad geológica saturada que puede transmitir agua fácilmente en cantidades significativas en condiciones normales (Z. Şen, 2015) y que a su vez es una formación o estrato geológico portador de agua que produce una cantidad significativa de agua para las extracciones económicas a través de los pozos.

2.2.2.1. Tipos de Acuíferos

La zona no saturada de un acuífero está inmediatamente debajo de la superficie de la tierra, donde los poros del suelo / roca contienen agua y aire, pero no están totalmente saturados de agua. Se diferencia de la zona debajo, la cual está

saturada de agua. La parte superior de la zona saturada se conoce como la capa freática (Z. Şen, 2015).

Los acuíferos pueden clasificarse por confinados o no confinados y por su composición geológica.

- A. Los acuíferos confinados** existen entre dos capas impermeables, a menudo compuestas de arcilla o roca derivada de arcilla, el agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos (Ordoñez, 2011).
- B. Los acuíferos no confinados** carecen de una capa de confinamiento sobre la capa freática, y por lo tanto son vulnerables a la contaminación de la superficie (Taniguchi et al., 2003).
- C. Los acuíferos porosos** tienen espacios de poros relativamente grandes en acuíferos no consolidados y canales de solución en acuíferos de carbonato en los cuales contienen cantidades significativas de agua subterránea con alta conductividad hidráulica (Z. Şen, 2015).
- D. Los acuíferos fisurados**, por el contrario, cuentan la presencia de fracturas y juntas en rocas ígneas y metamórficas y permiten que el agua ingrese y se mueva a través de las formaciones (Brunner, 2019).

2.2.3. El Agua

2.2.3.1. Definición

El agua es una molécula formada por la unión de dos átomos de hidrógeno con un átomo de oxígeno mediante dos enlaces covalentes. Es pequeña con un peso molecular de 18.015 g / mol, la molécula de agua tiene carga negativa en un extremo y carga positiva en el otro. La separación de cargas da como resultado moléculas de agua que tienen propiedades muy diferentes de las de otros compuestos de peso molecular similar. Estas diferencias incluyen elevados puntos de congelación y ebullición, grandes requerimientos de calor latente para cambios entre las fases sólida y líquida y entre las fases líquida y de vapor, la densidad dependiente de la temperatura, una gran capacidad para retener el calor y una excelente acción solvente. Estas propiedades físicas únicas del agua le

permiten abundar en la superficie de la tierra e influir en muchos de sus usos (Heikkinen et al., 2016).

El agua es un recurso renovable, pero con características muy particulares. Sobre todo, es un "bien primario" esencial para el ser humano y cualquier otra forma de vida. El agua es un bien insustituible, y su escasez puede estar condicionada por factores físicos o económicos. El hecho de que el agua es un bien básico y un derecho humano, tal como lo proclaman las Naciones Unidas, ahora forma parte de nuestro pensamiento general y es aceptado por todos (Antonelli & Greco, 2015).

2.2.3.2. Parámetros Físico-Químicos

A. pH: El pH se define por el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno, el pH es el parámetro más frecuentemente medido en química, particularmente en química analítica. Esto se debe a que el pH influye en la posición de equilibrio químico de la mayoría de las reacciones químicas en soluciones acuosas, y esto también puede extenderse a otros medios. En varios casos, el pH también influye en la cinética de la reacción, cambiando la velocidad y actuando como catalizador (Głąb & Hulanicki, 2005). El rango de pH se extiende de 0 a 14. Aunque los académicos argumentarán que la situación es más compleja que esta, este rango es más que adecuado. La mitad de este rango, pH 7, se considera neutral. Cualquier número mayor que 7 significa que es una base y cualquier número menor que 7 significa que es un ácido (Aldred et al., 2009).

B. Conductividad eléctrica (CE): La conductividad eléctrica del agua cuantifica la capacidad de la misma para trasladar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades la CE se denota como siemens por metro (S / m), pero por simplicidad se utiliza $\mu S / cm$ a una temperatura de $25^{\circ}C$. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua (Solís et al., 2018).

C. Turbiedad: La turbidez es una calidad óptica del agua causada por sólidos en suspensión que dan la apariencia de "nubosidad". Si bien la turbidez en sí no presenta un peligro directo para la salud humana, puede ser un indicio de mala calidad del agua (Stevenson & Bravo, 2019). La turbidez no es una concentración de contaminantes, pero es una propiedad que representa la "suma" de otros contaminantes, con la ventaja de que puede ser más barata y fácil de medir que la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los sólidos en suspensión, los sólidos disueltos, entre otros (Lee et al., 2016). La evaluación y el monitoreo de la turbidez del agua son necesarios en muchos casos para garantizar la alta calidad del agua y a su vez podría causar serios problemas en el tratamiento del agua potable (Parra et al., 2018).

2.2.3.3. Metales Pesados

Los metales pesados son un grupo de metales y metaloides que tienen una densidad relativamente alta y son tóxicos incluso a niveles de ppb (Duruibe et al., 2007). Los ejemplos incluyen Pb, As, Hg, Cd, Zn, Ag, Cu, Fe, Cr, Ni, Pd y Pt. Estos metales son liberados al medio ambiente por fuentes naturales y antropogénicas, tales como descargas industriales, escapes de automóviles y minería (Yadav et al., 2019).

La contaminación por metales pesados ha sido reconocida como una preocupación ambiental importante debido a su omnipresencia y persistencia (Fourati et al., 2016), además de que se caracterizan por una estabilidad relativamente alta, solubilidad en la precipitación atmosférica y la capacidad de ser absorbidos por el suelo y las plantas; se acumulan en organismos, siendo tóxicos en cualquier estado para humanos y animales con un amplio espectro y variedad de efectos nocivos (Dzyadevych & Jaffrezic, 2014).

A. Arsénico (As): El arsénico es un elemento natural, ubicuo en el medio ambiente, abundante en la corteza terrestre y circula por el agua, la tierra, el aire y los sistemas vivos con grandes implicaciones para la exposición humana, especialmente a través del agua potable (James et al., 2017; Watson, 2015).

El arsénico puede presentarse naturalmente en unos 200 minerales en diversos grados como arsénico elemental, arseniuro, sulfuros, óxidos, arsenito y arseniatos. Sin embargo, las concentraciones más altas de arsénico están asociadas con minerales de sulfuro y óxidos metálicos, especialmente óxidos de hierro. Las condiciones geoquímicas que son ampliamente aceptadas como causas de contaminación del agua subterránea son el pH, el medio ambiente aeróbico o reductor, el flujo de agua subterránea y el transporte. El mineral de arsénico más abundante es la pirita (FeS_2) seguida de calcopirita, galena y marcasita, donde las concentraciones de arsénico pueden llegar al 10% en peso (P. Pal, 2015).

El arsénico es una sustancia peligrosa conocida y clasificada como cancerígena para los humanos. Los estudios epidemiológicos han indicado que el arsénico puede aumentar el riesgo de cáncer de pulmón, hígado, vejiga y piel en humanos, y más de un millón de personas sufren de agua potable contaminada con arsénico en el mundo (James et al., 2017).

B. Cadmio (Cd): El cadmio es el sexagésimo séptimo elemento más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 48; peso atómico 112.4; densidad 8.64 g / cm^3 ; punto de fusión $320.9 \text{ }^\circ \text{C}$; punto de ebullición $767 \text{ }^\circ \text{C}$. En su forma metálica es blanco plateado, brillante y dúctil. El cadmio es relativamente blando, sin embargo, esto puede mejorarse mediante aleación, por ejemplo con el zinc (M. Stoeppler, 1992).

Como metal de transición existe casi por completo en un estado de oxidación (+2) en el medio ambiente y no sufre reacciones de oxidación / reducción. Es químicamente similar al zinc y generalmente se encuentra en minerales de otros metales como zinc, plomo y cobre, y en hierro y acero, combustibles fósiles y algunos fertilizantes. El cadmio se produce naturalmente en la corteza terrestre, el agua y el aire y puede emitirse al medio ambiente a través de actividades naturales y antropogénicas (Luz et al., 2018).

Los principales órganos diana de la toxicidad del cadmio son los riñones, los huesos y los pulmones, aunque los efectos también pueden ocurrir en el hígado, el cerebro, los testículos y el corazón (Rani et al., 2014).

- C. Hierro (Fe):** Puede haber concentraciones de hierro ferroso en las aguas subterráneas anaerobias con hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni la turbiedad al bombearla directamente desde un pozo. Pero el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable al entrar en contacto con la atmósfera (OMS, 2011).

Cuando el Hierro llega a los tejidos del cuerpo humano, especialmente en el hígado, puede ocasionar una fibrosis de hígado o una cirrosis hepática, además de Hepatitis B y Hepatitis C; incluso puede acelerar el desarrollo de otras complicaciones, incluyendo un carcinoma hepatocelular; en el corazón puede ocasionar anomalías rítmicas. Además, el hierro depositado en la glándula pituitaria, puede ocasionar alteraciones de maduración sexual, crecimiento y otras funciones endocrinas en los niños (Dirección General de Salud, 2017).

- D. Manganeso (Mn):** El manganeso es un elemento relativamente común en la corteza terrestre. La concentración promedio alcanza casi el 0.1%, y es el duodécimo elemento más abundante y el cuarto más abundante de los metales en uso comercial. El manganeso se produce en la naturaleza principalmente en forma de minerales de óxido, carbonato y silicato (Tangstad, 2013).

El manganeso se puede encontrar en concentraciones detectables tanto en aguas superficiales como subterráneas. La concentración de manganeso soluble rara vez excede 1.0 mg / L en un agua superficial bien aireada, pero pueden ocurrir concentraciones mucho más altas en aguas subterráneas sujetas a condiciones anaeróbicas. El manganeso también puede volver a disolverse de los sedimentos del fondo en depósitos de contención si el agua del fondo se desoxigena (Brandt et al., 2017).

El Mn es un contaminante ambiental común, que puede causar efectos tóxicos en humanos. El cerebro, en particular, es altamente susceptible a la toxicidad de Mn pudiendo producir neurotoxicidad que conduce a un trastorno cerebral degenerativo, denominado manganismo. con signos clínicos y lesiones morfológicas similares a las observadas en la enfermedad de Parkinson, los pacientes que sufren de manganismo exhiben un modelo bifásico característico de deterioro físico que comprende una fase inicial de trastornos psiquiátricos y déficits neurológicos, seguidos de déficits motores, como rigidez acinética, distonía y bradicinesia (Milatovic et al., 2017).

E. Plomo (Pb): Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables; causando efectos del desarrollo neuronal, mortalidad (principalmente debido a enfermedades cardiovasculares), deterioro de la función renal, hipertensión, deficiencia de la fertilidad y resultados adversos en el embarazo, anemia, efectos sobre el sistema nervioso central y periférico que incluyen convulsiones, coma y muerte (Boreiko, 2009; OMS, 2011; Sierra, 2011).

A continuación, se presentan los límites admisibles para concentraciones de metales en agua que se consideran aptas para el consumo humano.

Tabla 1

Límites máximos admisibles para el agua destinada a consumo humano

Parámetro	Unidad	OMS	ECA A1 (MINAM)	DIGESA (MINSA)
pH	Valor de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Turbiedad	UNT	5	5	5
Conductividad Eléctrica	µmho / cm	1500	1500	1500
Arsénico (As)	mg / L	0.01	0.01	0.01
Cadmio (Cd)	mg / L	0.003	0.003	0.003
Hierro (Fe)	mg / L	0.3	0.3	0.3
Manganeso (Mn)	mg / L	0.4	0.4	0.4
Plomo (Pb)	mg / L	0.01	0.01	0.01

Fuente: MINAM, 2017; MINSA, 2011; OMS, 2011

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio y periodo

El lugar donde se realizó el trabajo fue la ciudad de Juliaca, zona baja de la cuenca hidrográfica del Coata en la provincia de San Román y departamento de Puno, cuyas coordenadas UTM son: 378000 m E y 8286000 m N (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento & Municipalidad Provincial de San Román, 2016). Se tomó en cuenta los dos acuíferos delimitados según el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico: acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto (GEOCATMIN, 2013).

3.2. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo - comparativo, ya que caracterizó y comparó la concentración de metales pesados y los parámetros físico químicos con respecto a una variable delimitada: los acuíferos dentro de la ciudad de Juliaca; la investigación es netamente pura y prospectiva, pues aporta al conocimiento existente de la variable de interés mencionada.

El diseño es no experimental - longitudinal, ya que no se tuvo el poder de manipular las variables o tener un grupo control, y se realizó dos mediciones en la variable de interés, una en la época de estiaje (octubre 2019) y otra en la de avenida (marzo 2020).

3.3. Población y muestra

En este estudio se trabajó con pozos tubulares (PT) y pozos de excavación poco profunda (P), los cuales representaron un punto de acceso al agua subterránea de la ciudad de Juliaca.

Se aplicó un muestreo no probabilístico intensional, considerándose 12 pozos en la ciudad, 6 pozos por cada acuífero.

Se georreferenció cada punto de muestreo utilizando un GPS marca “Garmin” en coordenadas UTM, como se observa en la Tabla 2; toda esta información se consolidó en la Figura 1 mediante la elaboración de un mapa a través del *software* de superposición de mapas ArcMap 10.3.

Tabla 2

Coordenadas, códigos de campo y tipo de pozo de los puntos de monitoreo.

Tipo de acuífero	Código de campo	Coordenada X, Coordenada Y	Dirección	Tipo de pozo
Poroso no consolidado (AP)	AP 01	375370, 8286861	Urb. La Capilla	P T / 15 m.
	AP 02	382125, 8291474	Cacachi. Salida Huancané	P T / 15 m.
	AP 03	377435, 8288610	Urb. Celedonia	P
	AP 04	379812, 8283308	Urb. Taparachi Salida Puno	P T / 20 m
	AP 05	381776, 8287558	Urb. Flavio Torres	P T / 15 m
	AP 06	378194, 8287441	Jr. Jorge Chávez /Av. Ferrocarril	P T / 40 m
Fisurado sedimentario (AF)	AF 01	376200, 8285840	Jr. Mi Perú Salida Arequipa	P
	AF 02	377593, 8285415	Urb. Sol de Rinconada	P
	AF 03	376664, 8287431	Av. Nueva Zelandia Cd. 6	P T / 15 m
	AF 04	375949, 8286775	Av. A. Avelino C./Aricoma	P T / 20 m
	AF 05	377940, 8286852	Jauregui/ Jr. Lampa	P T / 20 m.
	AF 06	377634, 8286414	Cementerio Central	P T / 20 m

Fuente: Instrumento de recolección de datos en campo.

Puntos de Monitoreo

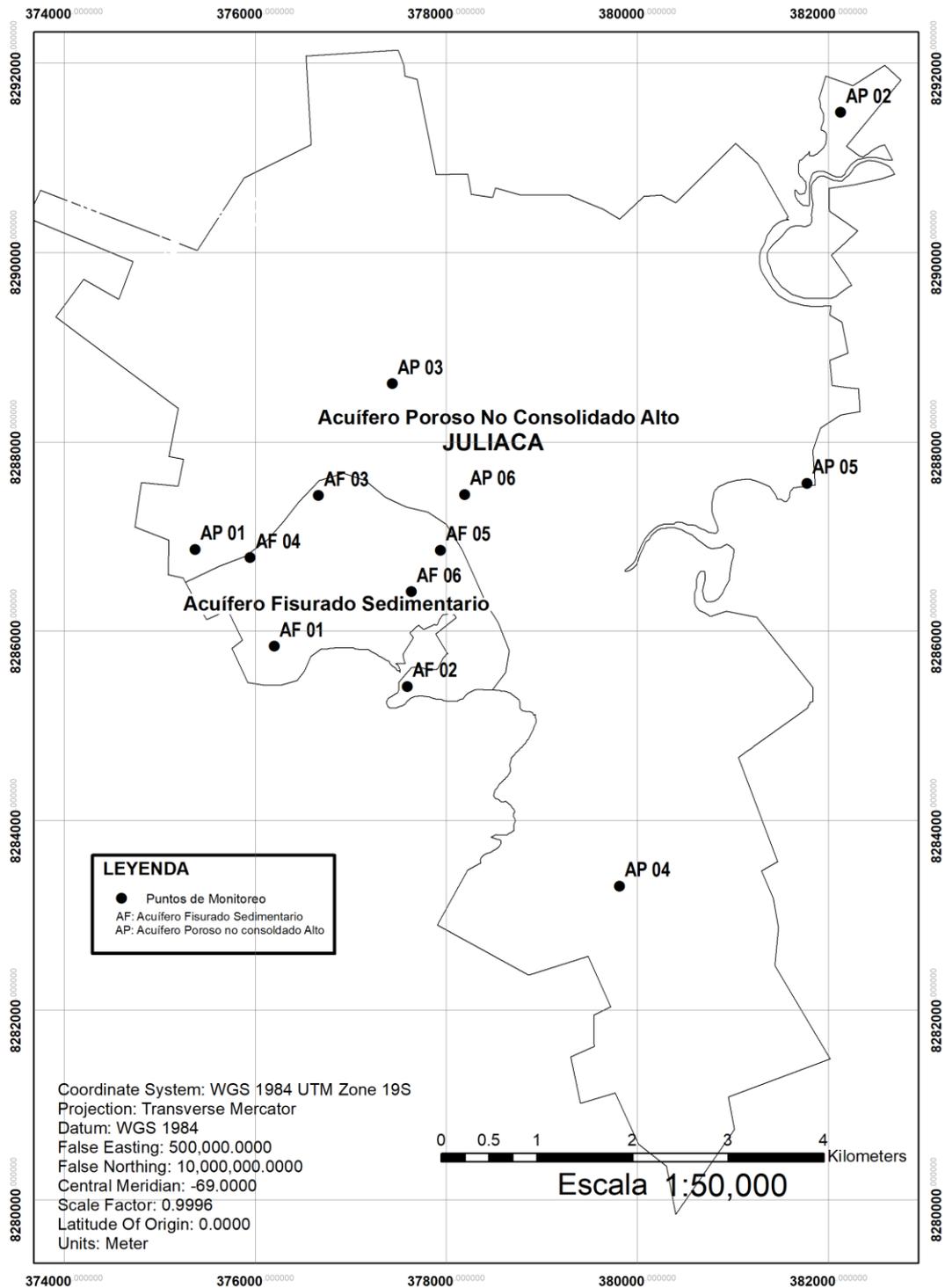


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo para el acuífero poroso no consolidado y el acuífero fisurado sedimentario.

Fuente: Elaborado en base al instrumento de recolección de datos utilizando ArcMap10.3.

3.4. Hipótesis de investigación

3.4.1. Hipótesis general

Hay diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y las concentraciones de metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

3.4.2. Hipótesis específicas

Las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto no son aptas para consumo humano debido a que los valores de sus parámetros fisicoquímicos no se encuentran dentro los límites permitidos.

Las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto no son aptas para consumo humano debido a que sus concentraciones de metales pesados superan los límites permitidos.

3.5. Equipos y materiales

Potenciómetro (HANNA), micropipetas (HIRSCHMAN), purificador de agua (EVOQUA), conductímetro (SI ANALITYCS), turbidímetro (LOVIBOND), campana de absorción de gases, espectrofotómetro de absorción atómica de técnica de flama y generación de hidruros (ANALYTIC JENNA novAA 400 P), matraces aforados de 50, 100 y 1000 mL, cooler 7 L, frascos de boca ancha de plástico y/o vidrio con tapa a rosca de 500 mL, materiales de escritorio, viales para AAS, guantes de nitrilo, lámparas de cátodo hueco para determinar As, Cd, Mn, Fe y Pb.

3.6. Reactivos

Agua destilada y ultra pura, solución estándar de As para EAA (1000 mg / L), solución estándar de Cd para EAA (1000 mg / L), solución estándar de Mn para EAA (1000 mg / L). solución estándar de Fe para EAA (1000 mg / L), solución estándar de Pb para EAA (1000 mg / L), ácido nítrico al 37% de pureza, ácido clorhídrico, borohidruro de potasio, hidróxido de sodio en lentejas, cloruro de potasio concentrado, aire sintético, acetileno, argón.

3.7. Determinación de parámetros físico químicos

Se cuantificaron los siguientes parámetros físico químicos: pH, conductividad eléctrica y turbiedad. El potencial de hidrógeno fue obtenido mediante un potenciómetro Hanna, dicha medición fue hecha en cada punto de muestreo (Anim et al., 2019). La conductividad eléctrica se determinó directamente con un conductímetro con un ajuste a 25°C; finalmente la turbiedad fue medida por el método nefelométrico (Omid, & Ashrafi, 2018).

3.8. Determinación de metales pesados

Los metales pesados determinados fueron: arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn) y plomo (Pb) (Jickells & Baker, 2014; Yusuf et al., 2018), los cuales han sido determinados por el método de espectrofotometría de absorción atómica de flama y técnica de generación de hidruros según lo detallado en el anexo V, haciendo uso del espectrofotómetro novAA 400 P de la marca Analytik Jena en el laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Nacional de Juliaca.

En la recolección de las aguas a analizar, los frascos de muestra se enjuagaron tres veces con el agua de muestra, antes de llenarlas. Luego, se agregó 0.25 mL / L de ácido nítrico (HNO_3) para evitar la precipitación. Las muestras fueron conservadas a 4 °C hasta su análisis (Demirel, 2007; Vatandoost et al., 2018). Si la turbiedad registrada en la muestra superaba la unidad nefelométrica se procedió con la digestión de la muestra: separando 5 mL de la muestra de agua a la cual se le agregó 20 mL de ácido nítrico y 20 mL de ácido clorhídrico (HCl), luego se calentó desde 45 a 60 minutos hasta dejar la muestra en sequedad, luego se dejó enfriar y se añadió agua destilada hasta que alcance un volumen de 100 mL, en seguida se realizó la lectura de metales utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica (Yusuf et al., 2018). En casos en los cuales la turbiedad no superaba la unidad en UNT se procedió a la lectura directa en el equipo.

El Cd, Fe, Mn y Pb fueron determinados mediante la técnica de absorción atómica por flama. Se instaló en el instrumento una lámpara de cátodo hueco para el metal deseado y se estableció el dial aproximado de longitudes de onda aplicando la corriente que aconseja el fabricante y se dejó calentar el aparato (Fernández, Lobo, & Pereiro, 2018). Después se instaló una cabeza de quemador adecuada y se

conectó al aire y al acetileno; ajustándose la velocidad del flujo de ambos combustibles para obtener la máxima sensibilidad en relación con el metal que se mide. Se procedió a la elaboración de una curva de calibración considerando un blanco y diferentes concentraciones del metal a analizar, obteniéndose la absorbancia para cada caso. Una vez obtenida las curvas se empezó con el análisis de las muestras, midiendo la absorbancia de esta; para finalmente obtener su concentración a través de la curva generada previamente (Kole et al., 2013).

El As fue determinado a través de la técnica de generación de hidruros, primeramente se prepararon: un agente reductor (0.3 % NaBH_4 y 0.1 % NaOH) y un agente ácido (3 % HCl), se sustituyó el cabezal quemador por el sistema cuarzo, cubeta, mirillas conectadas al Módulo HS 60, se empezó el calentamiento del cuarzo a la temperatura de 650°C , se ajustó el flujo del ácido y el agente reductor por las manguerillas peristálticas, finalmente y de manera análoga a la técnica de flama se preparó una curva de calibración y se obtuvo la absorbancia y concentración de las muestras.

3.9. Análisis de la Información

Los resultados obtenidos fueron sometidos a pruebas estadísticas mediante la aplicación del *software* InfoStat.

Para la caracterización de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados se utilizó medidas de tendencia central (media) y de dispersión (desviación estándar, valor mínimo y máximo); estos fueron evaluados con las directrices que se muestran en la tabla 1.

Para determinar la comparación entre los resultados de ambos acuíferos se utilizó la prueba de diferencia de medias (t de Student para muestras independientes) comparando la concentración de cada parámetro con el grupo de acuíferos, teniendo como hipótesis las siguientes:

H₀: No existe diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y la concentración de metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.

H₁: Existe diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y la concentración de metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.

Para determinar la comparación entre los resultados de ambas épocas se utilizó la prueba de diferencia de medias (t de Student para muestras apareadas), teniendo como hipótesis las siguientes:

H₀: No existe diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y la concentración de metales pesados en las aguas subterráneas de la época de avenida y la época de estiaje.

H₁: Existe diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y la concentración de metales pesados en las aguas subterráneas de la época de avenida y la época de estiaje.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Parámetros físico químicos

4.1.1. pH

Como se observa en la Figura 2, los valores de pH oscilan entre los valores permitidos por la OMS, los datos obtenidos para el acuífero poroso muestran una media de 7.51 con una desviación estándar de 0.26, un valor mínimo de 7.17 en la muestra AP 06 y un valor máximo de 7.9 en la muestra AP 03; mientras que, en el acuífero fisurado se tiene una media de 7.15 con una desviación estándar de 0.32, además el valor mínimo es de 6.71 en la muestra AF 02 y un valor máximo de 7.53.

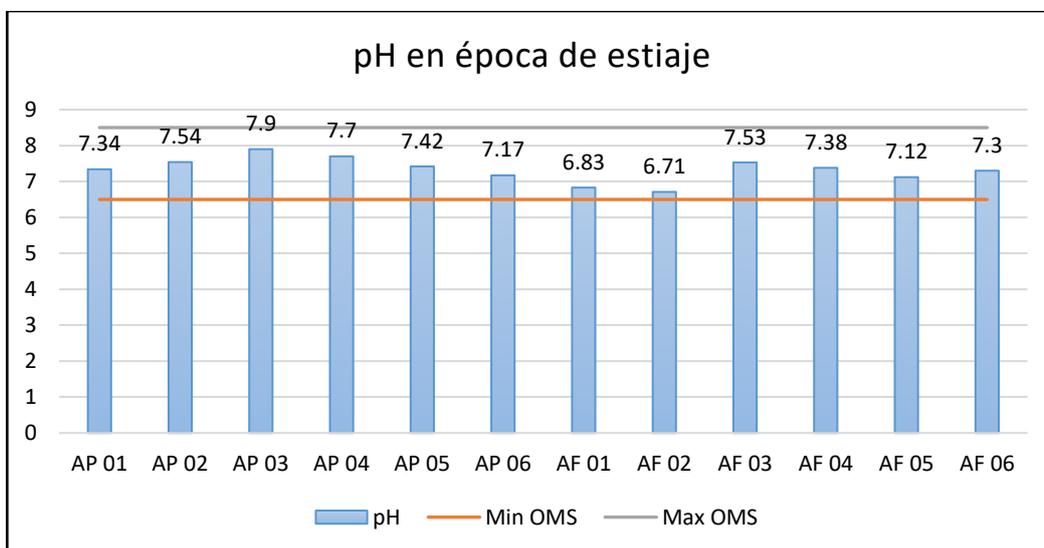


Figura 2. Gráfica de barras de los resultados de pH en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

Para la diferenciación de ambos grupos se utilizó la prueba “t de student para muestras independientes” con un nivel de significancia del 5%, lo cual se muestra en la Tabla 3: Con un p valor (0.0554), se rechaza la hipótesis alterna; entonces,

no hay diferencia significativa en los valores medios de pH en las agua del acuífero poroso y el acuífero fisurado de la ciudad de Juliaca.

Tabla 3

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para pH.

Estadístico	Grupo 1 Acuífero Fisurado, Época de Estiaje (AFE)	Grupo 2 Acuífero Poroso, Época de Estiaje (APE)
n	6	6
Media	7.15	7.51
Media (1)-Media (2)	-0.37	
L I (95)	-0.74	
L S (95)	0.01	
P Hom Var	0.6612	
T	-2.17	
<u>p-valor</u>	<u>0.0554</u>	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

Según la Figura 3. En la época de avenida, el pH tuvo una media de 7.31, con una desviación estándar de 0.06, un valor mínimo de 7.25 (muestras AP 05 y AP 06) y un máximo de 7.4 en la muestra AP 04 en el acuífero poroso. En el acuífero fisurado se obtuvo una media de 7.16, con una desviación estándar de 0.18, un valor mínimo de 6.9 en AF 06 y un máximo de 7.35 en la muestra AF 02.

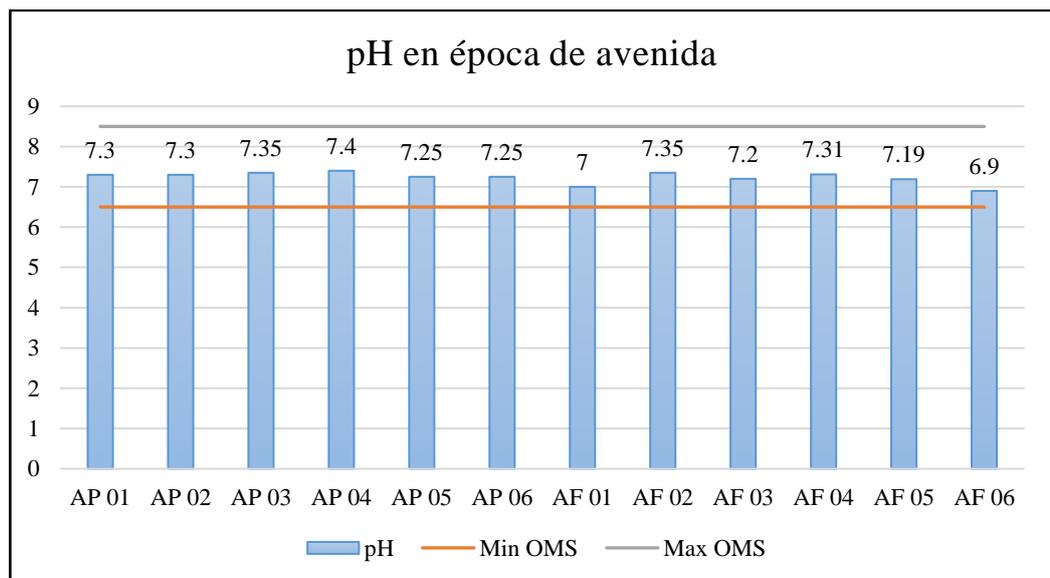


Figura 3. Gráfica de barras de los resultados de pH en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

Se aplicó la prueba de “t de Student para muestras independientes” para determinar si hay diferencia entre los resultados de pH en la época de avenida, dicha información se encuentra en la Tabla 4. El p valor fue de 0.09; al igual que en el caso anterior se rechazó la hipótesis alterna de esta prueba; aseverando así, que no hay diferencias significativas en ambos grupos.

Tabla 4

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para pH.

Estadístico	Grupo 1 Acuífero Fisurado, Época de Avenida (AFA)	Grupo 2 Acuífero Poroso, Época de Estiaje (APA)
n	6	6
Media	7.16	7.31
Media (1)-Media (2)	-0.15	
L I (95)	-0.33	
L S (95)	0.03	
pHomVar	0.0305	
T	-1.98	
p-valor	0.0944	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 5 se muestra los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, el valor de p para ambos casos supera el 0.05, por lo cual, se rechaza la hipótesis alterna, es decir, no existe diferencia significativa en los valores de pH que sea a consecuencia de la presencia de lluvias en ambos acuíferos.

Tabla 5

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para pH.

Obs1	Obs2	N	Media dif	Media 1	Media 2	DE dif	T	Bilateral
AP Est.	AP Ave	6	0.20	7.51	7.31	0.22	2.28	0.0717
AF Est.	AF Ave	6	-0.01	7.15	7.16	0.38	-0.09	0.9346

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

4.1.2. Conductividad eléctrica

Como se observa en la Figura 4, los resultados de conductividad eléctrica para la época de estiaje en el acuífero poroso tienen una media de 1486.67 $\mu\text{S} / \text{cm}$ y una desviación estándar de 805.24 $\mu\text{S} / \text{cm}$, un valor mínimo de 728 $\mu\text{S} / \text{cm}$ en la muestra AP 05 y un valor máximo de 2730 $\mu\text{S} / \text{cm}$ en la muestra AP 06. En el acuífero fisurado se obtuvo una media de 1537.5 $\mu\text{S} / \text{cm}$ con una desviación estándar de 824.96 $\mu\text{S} / \text{cm}$, el valor mínimo fue registrado en la muestra AF 02 con un valor de 551 $\mu\text{S} / \text{cm}$ y el valor máximo en la muestra AF 04 con 2990 $\mu\text{S} / \text{cm}$.

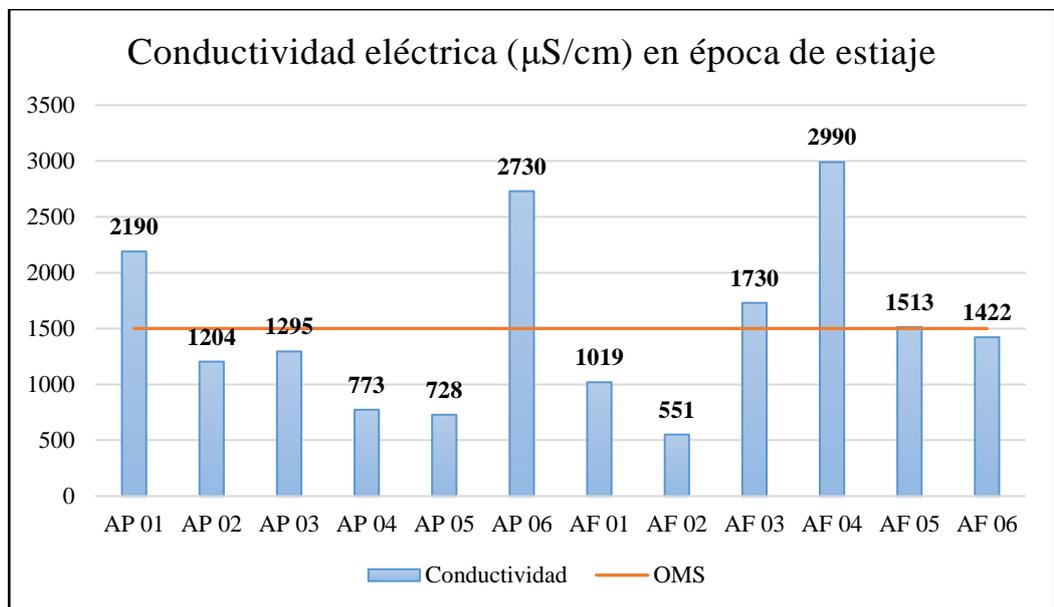


Figura 4. Gráfica de barras de los resultados de conductividad eléctrica en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 6 se puede percibir los resultados de la prueba de “t de Student para muestras independientes”, en la cual se puede concluir que, según el valor de $p=0.9161$, que es mayor a 0.05, se rechaza la hipótesis alterna, por lo cual, se afirma que no hay diferencia significativa en los valores de conductividad para ambos acuíferos.

Tabla 6

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para conductividad eléctrica.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	1537.5	1486.67
Media (1)-Media (2)	50.83	
LI (95)	-997.8	
LS (95)	1099.47	
pHomVar	0.959	
T	0.11	
p-valor	0.9161	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Figura 5 se observa la distribución de la conductividad eléctrica para la época de avenida, de donde se puede rescatar que la media para el grupo de muestras analizadas del acuífero poroso es de 2125.5 $\mu\text{S} / \text{cm}$, con una desviación estándar de 968.15 $\mu\text{S} / \text{cm}$, un valor mínimo de 1066 $\mu\text{S} / \text{cm}$ en la muestra AP 05 y un máximo de 3890 $\mu\text{S} / \text{cm}$ en la muestra AP 02. En el acuífero fisurado se determinó una media de 1541.83 $\mu\text{S} / \text{cm}$ con una desviación estándar 818.64 $\mu\text{S} / \text{cm}$, un valor mínimo de 257 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un máximo de 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

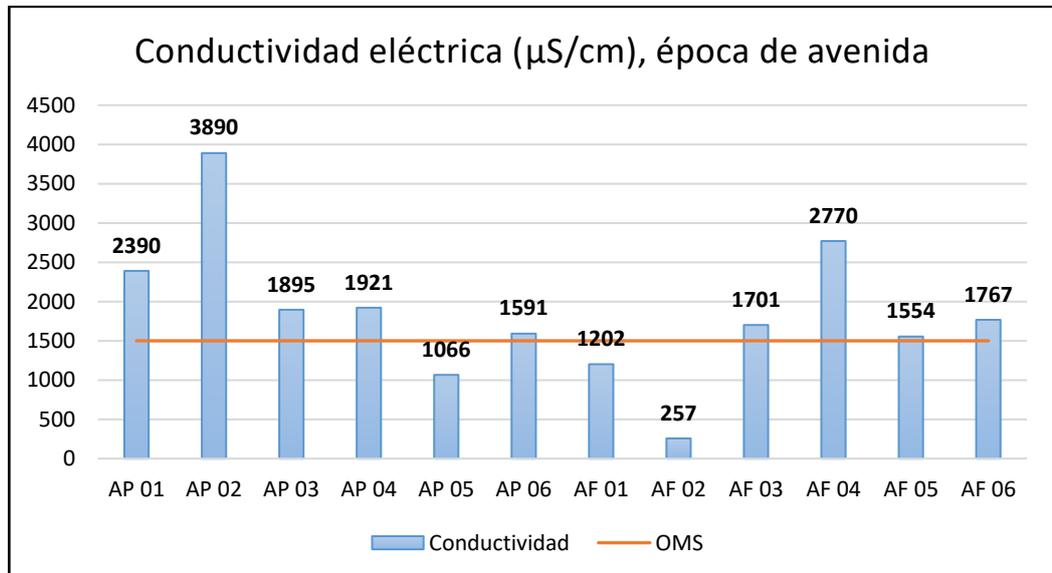


Figura 5. Gráfica de barras de los resultados de conductividad eléctrica en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

Como se visualiza en la Tabla 7, el valor de “p” para esta prueba es de 0.2858 por lo cual se llega a la decisión de rechazar la hipótesis alterna; entonces, no existe diferencias significativas en ambos grupos para la época de avenida.

Tabla 7

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para conductividad eléctrica.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	1541.83	2125.5
Media (1)-Media (2)	-583.67	
LI (95)	-1736.96	
LS (95)	569.63	
pHomVar	0.7217	
T	-1.13	
p-valor	0.2858	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 8 se muestra los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, para ambos casos el valor de “p” supera el valor de 0.05, rechazando de esta manera la hipótesis alterna; es decir, no existe diferencia significativa en la conductividad eléctrica que derive de la presencia de lluvias para ambos acuíferos.

Tabla 8

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para conductividad eléctrica.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	-638.83	1486.67	2125.50	1256.62	-1.25	0.2682
AFE	AFA	6	-4.33	1537.50	1541.83	240.73	-0.04	0.9665

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

4.1.3. Turbiedad

En la Figura 6 se puede distinguir la distribución para la turbiedad en la época de estiaje, todas las muestras no superaron los límites permisibles por la OMS. Para el acuífero poroso la media de este parámetro fue de 0.69 NTU con una desviación estándar de 0.38 NTU, un valor mínimo de 0.13 NTU y un máximo de 1.29 NTU. Para el grupo del acuífero fisurado se obtuvo una media de 1.19 NTU con una desviación estándar de 0.94 NTU, un valor mínimo de 0.27 NTU y un máximo de 2.83 NTU.

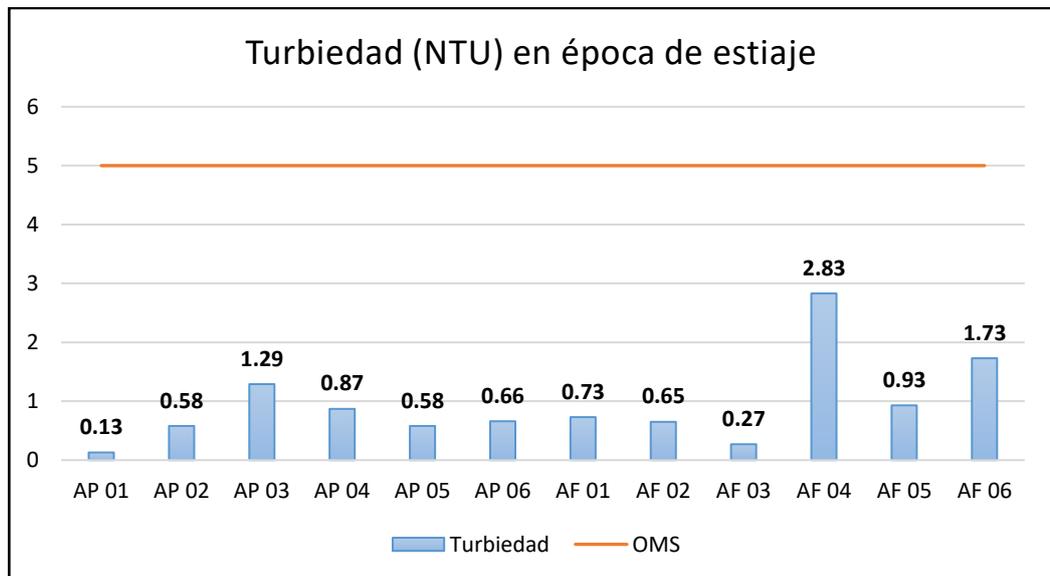


Figura 6. Gráfica de barras de los resultados de turbiedad en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 9 se da a conocer los resultados de la prueba estadística de “t de Student para muestras independientes” del parámetro de turbiedad para la época de estiaje, al obtenerse un p valor mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis alterna; entonces, no hay diferencias significativas de la turbiedad del agua en ambos acuíferos.

Tabla 9

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para turbiedad.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	1.19	0.69
Media (1)-Media (2)	0.51	
LI (95)	-0.42	
LS (95)	1.43	
pHomVar	0.0709	
T	1.22	
p-valor	0.25	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la época de avenida, la turbiedad para el grupo del acuífero poroso obtuvo un valor por encima de lo permitido por la OMS en la muestra AP 05, la media para este grupo fue de 2.63 NTU con una desviación estándar de 2.38 NTU, un valor mínimo de 0.56 NTU y un máximo de 6.41 NTU. El acuífero fisurado ha presentado una media de 1.01 NTU, una desviación estándar de 0.31 NTU, un valor mínimo de 0.66 NTU y un máximo de 1.39 NTU.

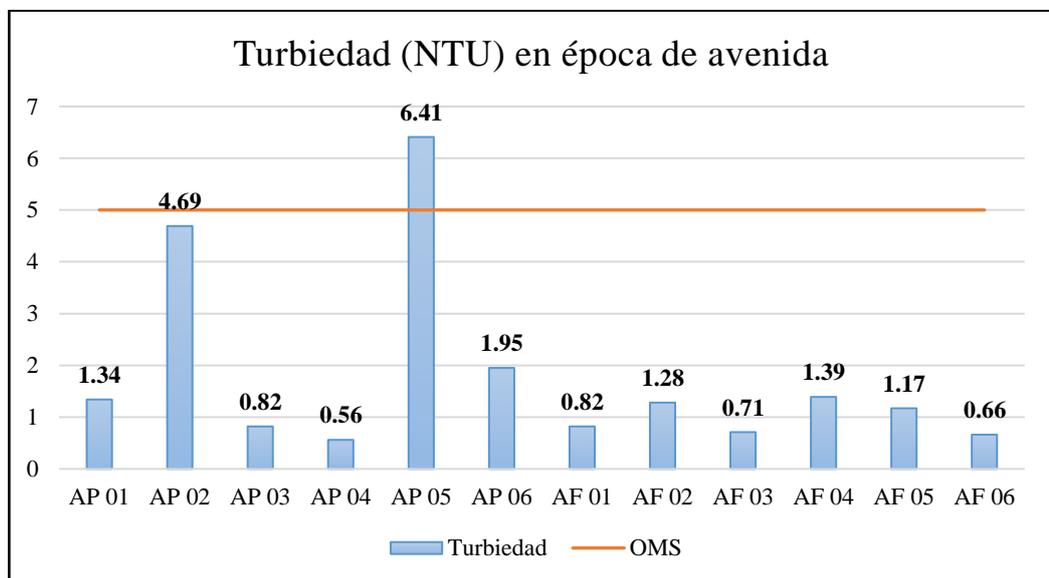


Figura 7. Gráfica de barras de los resultados de turbiedad en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

Los resultados mostrados en la Tabla 10 son de la prueba estadística de “t de Student para muestras independientes” del parámetro de turbiedad para la época

de avenida, al obtenerse un p valor mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la nula; entonces, no hay diferencias significativas en los valores de la turbiedad del agua del acuífero poroso y el acuífero fisurado en la época de avenida.

Tabla 10

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para turbiedad.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	1.01	2.63
Media (1)-Media (2)	-1.62	
LI (95)	-4.14	
LS (95)	0.89	
pHomVar	0.0004	
T	-1.66	
p-valor	0.1579	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 11 se muestra los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, el valor de “p” para ambos casos superó el 0.05; por lo cual, se rechaza la hipótesis alterna, es decir, no existe diferencia significativa en la turbiedad que sea proveniente de la presencia de lluvias en ambos acuíferos.

Tabla 11

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para turbiedad.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	-1.94	0.69	2.63	2.52	-1.89	0.1171
AFE	AFA	6	0.19	1.19	1.01	0.86	0.53	0.6195

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

4.2. Metales pesados

4.2.1. Arsénico

En la Figura 8 se diferencia los resultados de las concentraciones de arsénico en la época de estiaje en $\mu\text{g} / \text{L}$ en un gráfico de barras. Para el acuífero poroso se obtuvo una media de $1.29 \mu\text{g} / \text{L}$ con una desviación estándar de $0.96 \mu\text{g} / \text{L}$, el valor mínimo fue de $0.57 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 05 mientras que el máximo fue de $3.19 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 04. En el acuífero fisurado se presentó una media de $0.89 \mu\text{g} / \text{L}$ con una desviación estándar de $0.47 \mu\text{g} / \text{L}$, un valor mínimo de $0.31 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 02 y un máximo de $1.54 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 06.

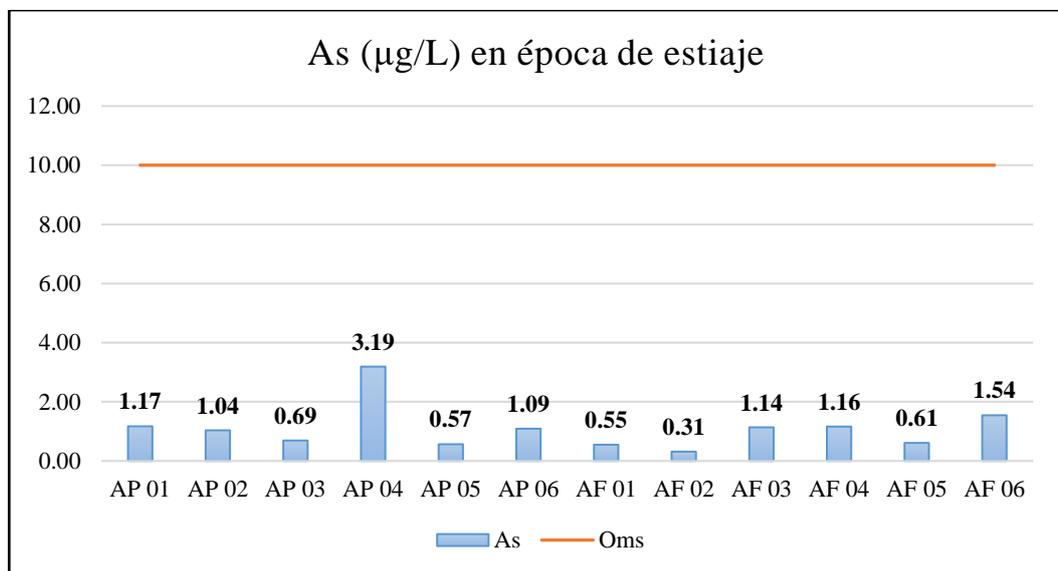


Figura 8. Gráfica de barras de los resultados de arsénico en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

Los resultados mostrados en la Tabla 12 son de la prueba estadística “t de Student para muestras independientes” para el arsénico en la época de estiaje, al obtenerse un p valor mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la nula; entonces, no hay diferencias significativas en las concentraciones de arsénico en aguas del acuífero poroso y el acuífero fisurado en la época de estiaje.

Tabla 12

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para arsénico.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	0.89	1.29
Media(1)-Media(2)	-0.41	
LI(95)	-1.38	
LS(95)	0.56	
pHomVar	0.1393	
T	-0.93	
p-valor	0.3726	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

Los resultados de las concentraciones de arsénico para la época de avenida en ambos acuíferos se observan en la Figura 9. El acuífero poroso obtuvo una media de 1.49 $\mu\text{g} / \text{L}$ y una desviación estándar de 1.93 $\mu\text{g} / \text{L}$, un valor mínimo de 0.27 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 05 y un máximo de 5.36 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 04. El acuífero fisurado se consiguió una media de 0.61 $\mu\text{g}/\text{L}$, con una desviación estándar de 0.40 $\mu\text{g} / \text{L}$, el valor mínimo para este grupo fue de 0.20 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 02 y el máximo fue de 1.11 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 03.

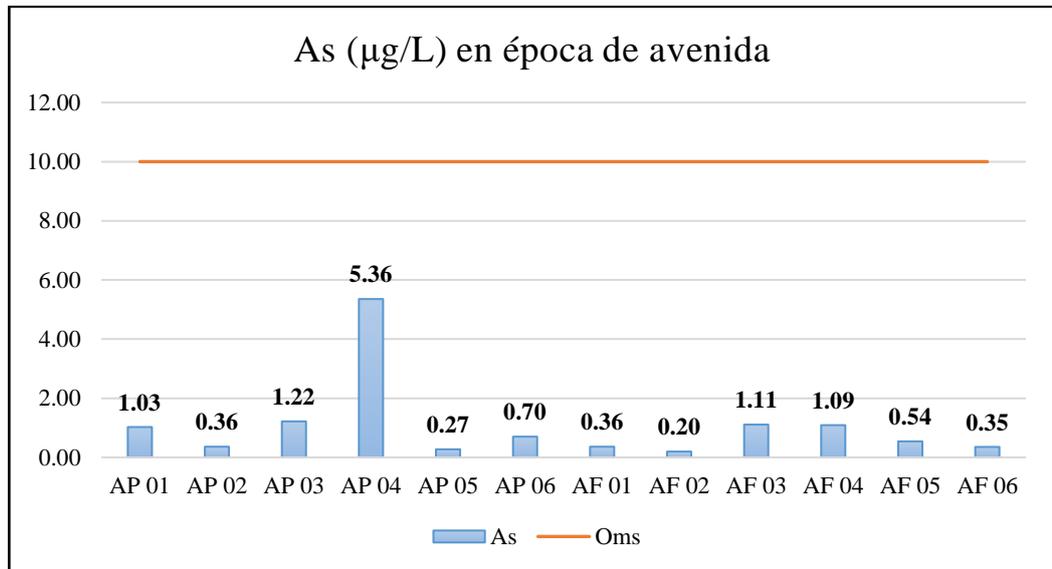


Figura 9. Gráfica de barras de los resultados de arsénico en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 13 se da a conocer los resultados de la prueba estadística de “t de Student para muestras independientes” de las concentraciones de arsénico para la época de avenida, al obtenerse un p valor mayor a 0.05, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la nula; entonces, no hay diferencias significativas en las concentraciones de arsénico del agua en el acuífero poroso y el acuífero fisurado.

Tabla 13

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para arsénico.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	0.61	1.49
Media(1)-Media(2)	-0.88	
LI(95)	-2.95	
LS(95)	1.19	
pHomVar	0.0034	
T	-1.09	
p-valor	0.3235	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 14 se muestra los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, en ambos casos el valor de p supera el valor de 0.05, entonces, no existiría diferencias significativas en las concentraciones de arsénico que sea proveniente de la presencia de lluvias para ambos acuíferos.

Tabla 14

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para arsénico.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	-0.2	1.29	1.49	1.04	-0.46	0.6635
AFE	AFA	6	0.28	0.89	0.61	0.45	1.51	0.1921

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

La máxima concentración de As fue hallada en el punto AP 04 (Urb. Taparachi), este resultado se encuentra dentro del rango encontrado por George et al en el 2014; que tomó 48 muestras en la misma urbanización obteniendo concentraciones desde 1.2 a 193.1 µg / L y una media de 62.0 µg / L.

Como se observó, todas las muestras contienen concentraciones de As, la presencia de este elemento en el agua subterránea estaría justificada de forma natural gracias a depósitos minerales, salmueras, aguas termales, rocas volcánicas y arcos magmáticos característicos de los Andes, situación que se comparte con países como Chile, Bolivia y Argentina (Mukherjee et al., 2019; Tapia et al., 2019).

Para valores de pH típicos de aguas subterráneas (6,5 – 8,5), se ha podido comprobar que, por su alta capacidad de adsorción-desorción, los óxidos y oxihidróxidos de hierro pueden retener As, restringiendo su movilidad en las aguas subterráneas y regulando, en consecuencia, su distribución en los acuíferos (Blanes et al., 2006).

Con respecto a la variación de las concentraciones de As, Tweed et al. (2020) sostiene que las variaciones espaciales son significativas y las estacionales en menos medida; situación que se comparte con esta investigación, se observa más una diferenciación en las concentraciones de As en los puntos de monitoreo, que los que deriven de la presencia de lluvias.

4.2.2. Cadmio

Los resultados de las concentraciones de cadmio en la época de estiaje para ambos acuíferos se pueden observar en la Figura 10. Para el acuífero poroso se obtuvo una media de 47.25 $\mu\text{g} / \text{L}$ y una desviación estándar de 3.88 $\mu\text{g} / \text{L}$, un valor mínimo de 42.6 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 05 y un valor máximo de 52.3 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 01. En el acuífero fisurado, se tuvo una media de 38.38 $\mu\text{g} / \text{L}$ con una desviación estándar de 2.78 $\mu\text{g} / \text{L}$, el valor mínimo para este grupo fue de 35.75 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 06 y el máximo fue de 42.10 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 04.

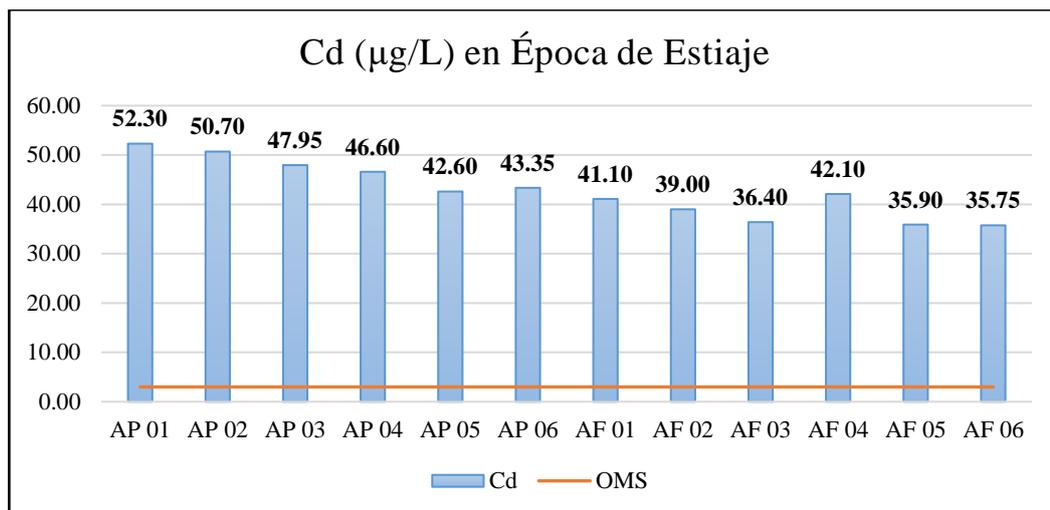


Figura 10. Gráfica de barras de los resultados de cadmio en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 15 se da a conocer los resultados de la prueba estadística “t de Student para muestras independientes” para las concentraciones de cadmio en la época de estiaje, al obtenerse un p valor menor a 0.05 se acepta la hipótesis alterna; entonces, hay diferencias significativas en las concentraciones de cadmio en las aguas provenientes del acuífero poroso y el acuífero fisurado en la época de estiaje.

Tabla 15

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para cadmio.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	38.38	47.25
Media(1)-Media(2)	-8.88	
LI(95)	-13.21	
LS(95)	-4.54	
pHomVar	0.4824	
T	-4.56	
p-valor	0.001	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

Los resultados de las concentraciones de cadmio en la época de avenida para ambos acuíferos se puede observar en la Figura 11. El acuífero poroso ha obtenido una media de 10.74 µg / L y una desviación estándar de 8.44 µg / L, un valor

mínimo de 1 µg / L en la muestra AP 06 y un valor máximo de 25.15 µg / L en la muestra AP 01. En el acuífero fisurado, se obtuvo una media de 5.36 µg / L con una desviación estándar de 4.32 µg / L, el valor mínimo para este grupo fue de menos de 0.001 µg / L en las muestras AF 01 y AF 03, siendo resultados menores a los límites de detección del equipo, y el máximo fue de 9.40 µg / L en la muestra AF 06.

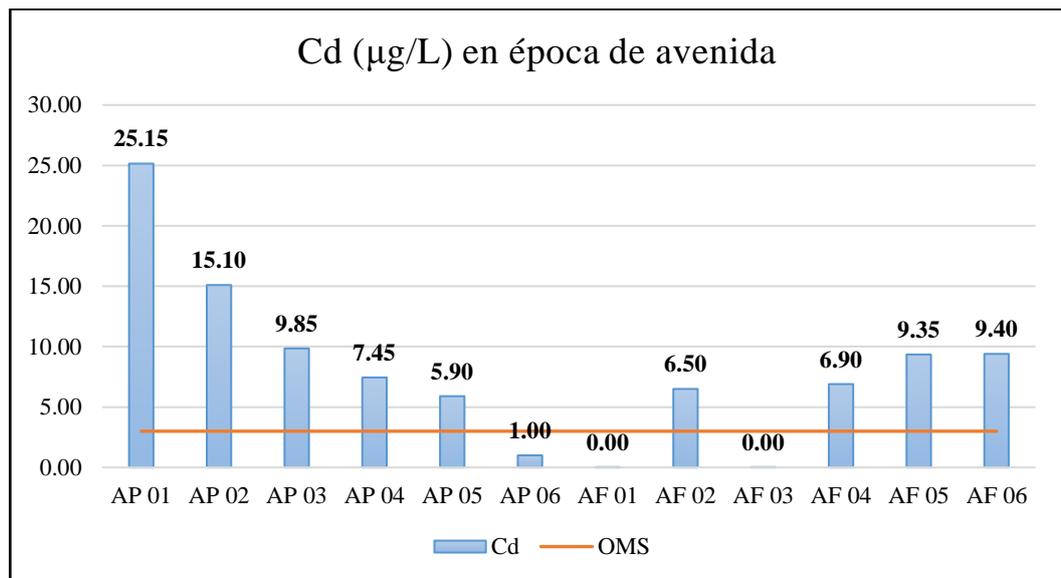


Figura 11. Gráfica de barras de los resultados de cadmio en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 16 se da a conocer los resultados de la prueba estadística de “t de Student para muestras independientes” de las concentraciones de cadmio para la época de avenida, al obtenerse un p valor mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la nula; entonces, no hay diferencias significativas en las concentraciones de cadmio en las aguas subterráneas del acuífero poroso y el acuífero fisurado en la época de avenida.

Tabla 16

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para cadmio.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	5.36	10.74
Media(1)-Media(2)	-5.38	
LI(95)	-14.01	
LS(95)	3.25	
pHomVar	0.1677	
T	-1.39	
p-valor	0.1947	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 17 se observan los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, considerando el valor de “p” para ambos casos, inferiores a 0.05, se acepta la hipótesis alterna, es decir, existe diferencia significativa en las concentraciones de cadmio que tengan que estén relacionadas con las precipitaciones pluviales en ambos acuíferos.

Tabla 17

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para cadmio.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	36.51	47.25	10.74	5.14	17.4	<0.0001
AFE	AFA	6	33.02	38.38	5.36	5.8	13.95	<0.0001

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En general las concentraciones de cadmio rondan valores desde los 35.75 a 52.30 $\mu\text{g} / \text{L}$ en la época de estiaje, dichos valores coinciden con las medias aritméticas de concentraciones en algunas investigaciones realizadas en India (Idrees et al., 2018) y México (Inocencio et al., 2013), y al igual que en esta última, en la época de avenida las concentraciones suelen disminuir, como en la situación expuesta en la presente investigación. Además se observa que en la época de estiaje, todas las muestras superan los valores recomendados por la OMS ($3 \mu\text{g} / \text{L}$).

4.2.3. Hierro

En la Figura 12 se aprecia los resultados de las concentraciones de hierro en la época de estiaje en mg / L en un gráfico de barras. El acuífero poroso obtuvo una media de 0.19 mg / L, con una desviación estándar de 0.01 mg / L, el valor mínimo fue de 0.17 mg / L en la muestra AP 05 y el valor máximo fue de 0.20 mg / L en la muestra AP 06. En el acuífero fisurado se ha presentado una media de 0.21 mg / L con una desviación estándar de 0.04 mg / L, un valor mínimo de 0.17 mg / L en la muestra AF 01 y un máximo de 0.27 mg / L en la muestra AF 02.

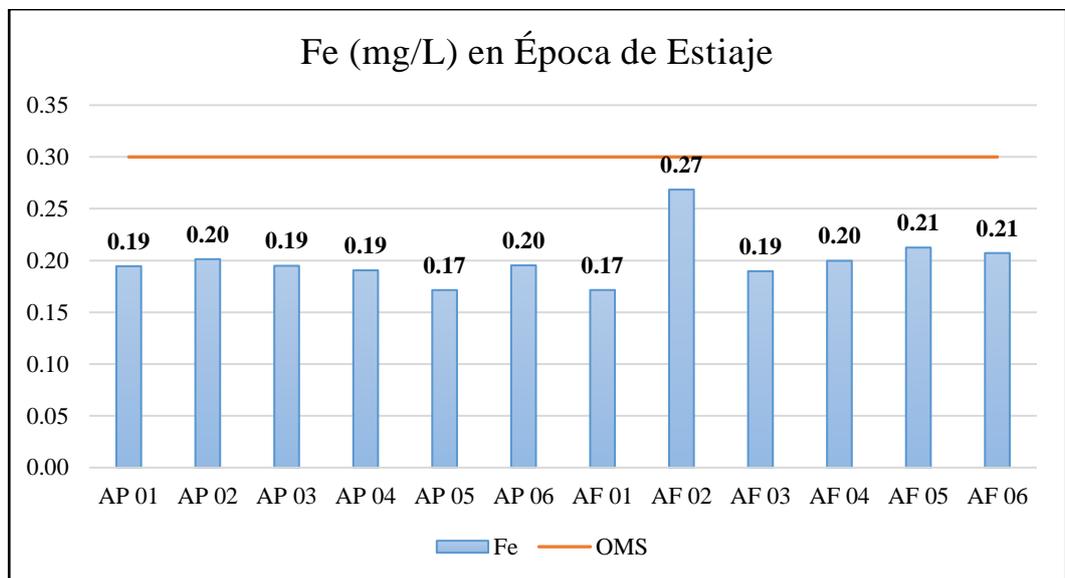


Figura 12. Gráfica de barras de los resultados de hierro en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 18 se muestran los resultados de la prueba “t de Student para muestras independientes” y según el p valor (0.2787), mayor a 0.05, se rechaza la hipótesis alterna; es decir, no habría evidencia suficiente para afirmar que las medias de las concentraciones de hierro en la época de estiaje de ambos acuíferos tengan una diferencia significativa.

Tabla 18

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para hierro.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	0.21	0.19
Media (1)-Media (2)	0.02	
LI (95)	-0.02	
LS (95)	0.06	
pHomVar	0.0138	
T	1.19	
p-valor	0.2787	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Figura 13 se diferencian los resultados de las concentraciones de hierro en la época de avenida en mg / L en un gráfico de barras. Para el acuífero poroso se obtuvo una media de 0.24 mg / L con una desviación estándar de 0.02 mg / L, el valor mínimo fue de 0.22 mg / L en la muestra AP 01 mientras que el valor máximo fue de 0.26 mg / L en la muestra AP 02. En el acuífero fisurado se presentó una media de 0.28 mg / L con una desviación estándar de 0.03 mg / L, un valor mínimo de 0.24 mg / L en la muestra AF 01 y un máximo de 0.30 mg / L en la muestra AF 06.

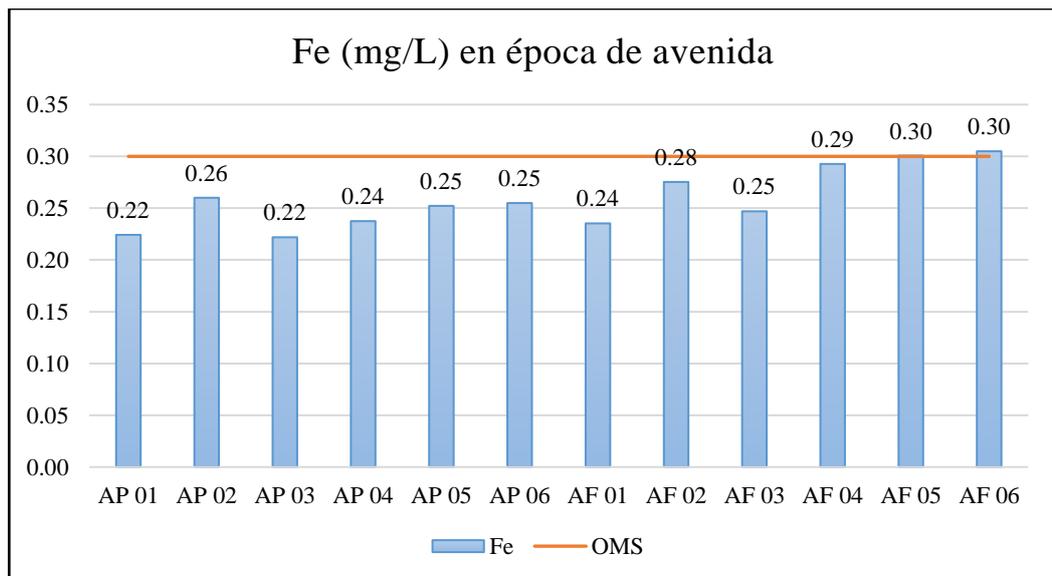


Figura 13. Gráfica de barras de los resultados de hierro en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 19 se muestran los resultados de la prueba “t de Student para muestras independientes” afirmando que según el valor de “p” (0.0309), menor a 0.05, se acepta la hipótesis alterna; es decir, habría evidencia suficiente para afirmar que las medias de ambos acuíferos con respecto a la concentración de hierro en la época de avenida tengan una diferencia significativa.

Tabla 19

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para hierro.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	0.28	0.24
Media(1)-Media(2)	0.03	
LI(95)	3.80E-03	
LS(95)	0.06	
pHomVar	0.2323	
T	2.51	
p-valor	0.0309	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 20 se observan los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, teniendo en consideración el valor de “p”, para ambos casos no se supera el valor de 0.05, aceptándose la hipótesis alterna; es decir, existe diferencia significativa en las concentraciones de hierro que provengan de la presencia de lluvias en ambos acuíferos.

Tabla 20

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para hierro.

Obs(1)	Obs(2)	N	media(dif)	Media(1)	Media(2)	DE(dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	-0.05	0.19	0.24	0.02	-6.08	0.0017
AFE	AFA	6	-0.07	0.21	0.28	0.04	-4.22	0.0083

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

Los valores medios de Fe fueron mayores en marzo (0.24 y 0.28 mg / L) que en octubre (0.19 y 0.21 mg / L), asociados probablemente a una condición anóxica en la primera fecha; esta situación se comparte con la investigación de Inocencio et al., (2013) . El hierro aumenta su solubilidad en condiciones de bajo potencial

redox (Stumm & Morgan, 1996), contexto que puede presentarse en los acuífero estudiados en el mes de marzo, cuando la infiltración de las lluvias causa la elevación del nivel freático y el oxígeno presente en el suelo es desplazado hacia la atmósfera (Pawar & Nikumbh, 1999).

4.2.4. Manganeso

En la Figura 14 se da a conocer los resultados de las concentraciones de manganeso en la época de estiaje, observándose que más del 50% tienen concentraciones por debajo de los límites de detección del equipo, sin embargo hubo la muestra AP 04 superó los límites establecidos por la OMS.

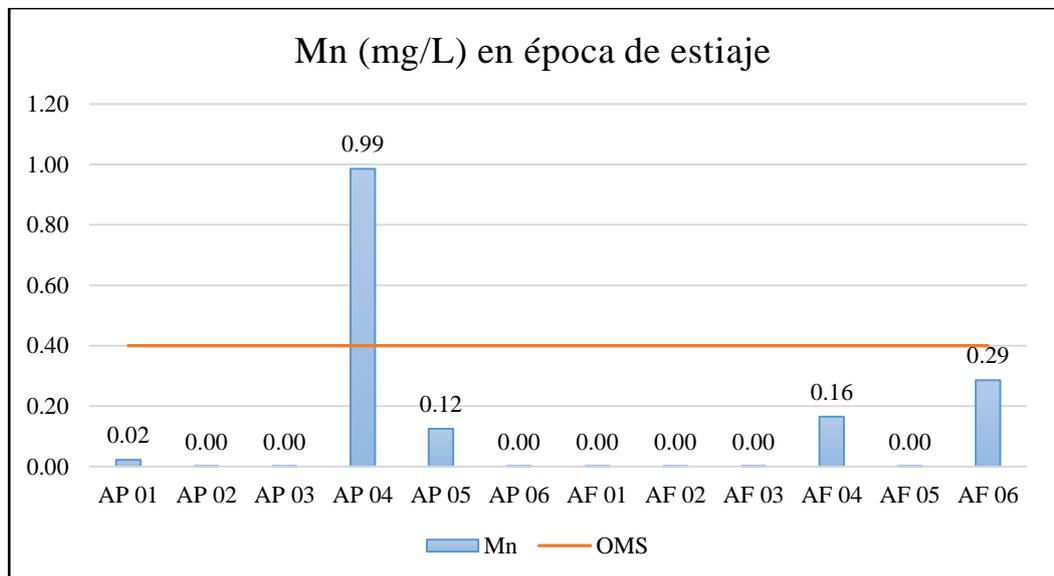


Figura 14. Gráfica de barras de los resultados de manganeso en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Figura 15 se observa los resultados de las concentraciones de manganeso en la época de avenida, ninguna muestra ha superado los límites establecidos por la OMS y más del 50% tienen concentraciones por debajo de los límites de detección del equipo.

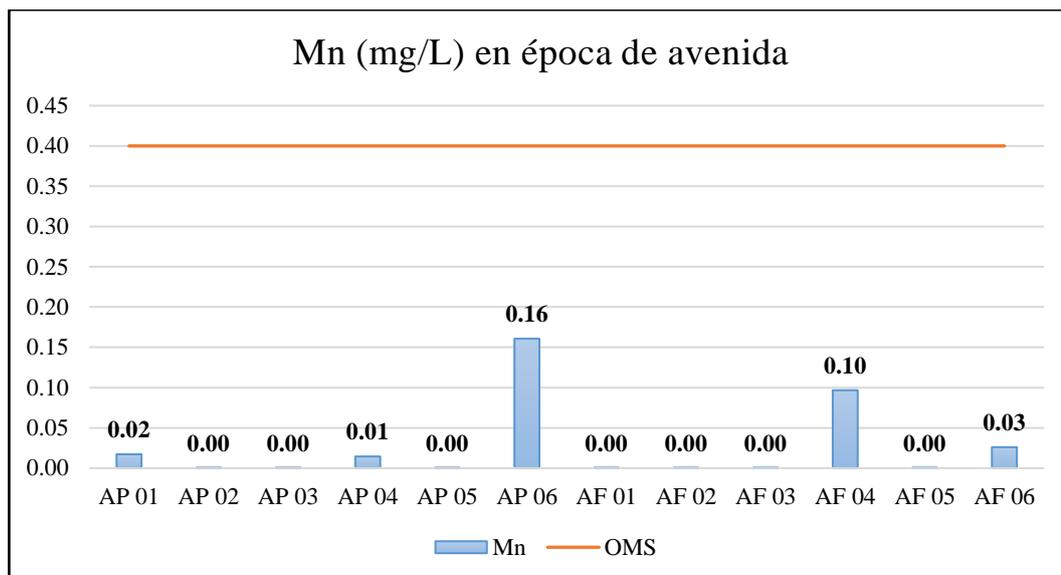


Figura 15. Gráfica de barras de los resultados de manganeso en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 21, se muestra los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, según el valor de “p”, para ambos casos se supera el valor de 0.05, por lo cual, se rechaza la hipótesis alterna, es decir, no existe diferencia significativa en las concentraciones de manganeso que sean causadas por la presencia de lluvias en ambos acuíferos.

Tabla 21

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para maganeso.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	0.16	0.19	0.03	0.41	0.94	0.3913
AFE	AFA	6	0.05	0.08	0.02	0.1	1.29	0.2547

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

4.2.5. Plomo

En la Figura 16 se muestran los resultados de las concentraciones de plomo en la época de estiaje en $\mu\text{g/L}$ en un gráfico de barras. Para el acuífero poroso se obtuvo una media de $1346.87 \mu\text{g/L}$, con una desviación estándar de $93.64 \mu\text{g/L}$, el valor mínimo fue de $1223.20 \mu\text{g/L}$ en la muestra AP 06 y el valor máximo fue de $1433.70 \mu\text{g/L}$ en la muestra AP 01. En el acuífero fisurado se presentó una media de $1149.78 \mu\text{g/L}$, con una desviación estándar de $62.70 \mu\text{g/L}$, un valor mínimo de $1072.20 \mu\text{g/L}$ en la muestra AF 05 y un máximo de $1224.20 \mu\text{g/L}$ en la muestra AF 04.

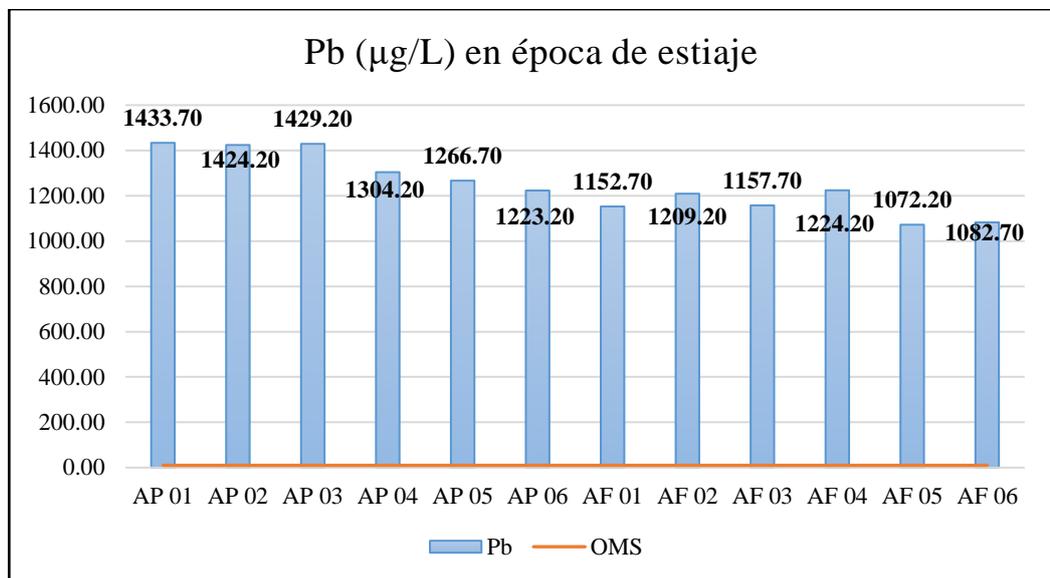


Figura 16. Gráfica de barras de los resultados de plomo en las muestras de aguas subterráneas en la época de estiaje.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 22 se muestran los resultados de la prueba “t de Student para muestras independientes”, se puede afirmar que según el valor de “p” (0.0016), menor a 0.05; se acepta la hipótesis alterna, es decir, habría evidencia suficiente para afirmar que las medias de ambos acuíferos con respecto a la concentración de plomo en la época de estiaje tengan una diferencia significativa.

Tabla 22

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFE y APE para plomo.

Estadístico	Grupo 1 AFE	Grupo 2 APE
n	6	6
Media	1149.78	1346.87
Media(1)-Media(2)	-197.08	
LI(95)	-299.59	
LS(95)	-94.57	
pHomVar	0.3993	
T	-4.28	
p-valor	0.0016	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Figura 17 se puede percibir los diferentes resultados de las concentraciones de plomo en la época de avenida en $\mu\text{g} / \text{L}$ en un gráfico de barras. Para el acuífero poroso se obtuvo una media de $306 \mu\text{g} / \text{L}$, con una desviación estándar de $82.26 \mu\text{g} / \text{L}$, el valor mínimo fue de $220 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 05 mientras que el máximo fue de $429 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AP 01. En el acuífero fisurado se presentó una media de $77.58 \mu\text{g} / \text{L}$, con una desviación estándar de $38.85 \mu\text{g} / \text{L}$, un valor mínimo de $19 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 06 y un valor máximo de $128 \mu\text{g} / \text{L}$ en la muestra AF 04.

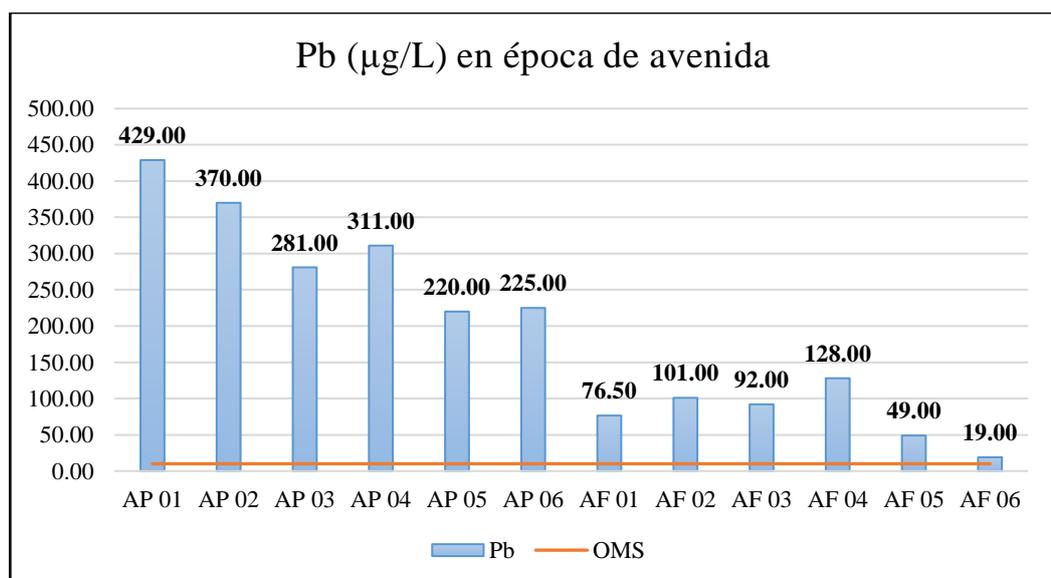


Figura 17. Gráfica de barras de los resultados de plomo en las muestras de aguas subterráneas en la época de avenida.

Fuente: Instrumento de recolección de datos.

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la prueba “t de Student para muestras independientes”, se puede afirmar que, según el valor de “p” (0.0001), menor a 0.05, se aceptaría la hipótesis alterna, es decir, habría evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa en las medias de ambos acuíferos con respecto a la concentración de plomo para la época de avenida.

Tabla 23

Resultados de la prueba de t de Student para muestras independientes, diferencia de medias AFA y APA para plomo.

Estadístico	Grupo 1 AFA	Grupo 2 APA
n	6	6
Media	77.58	306
Media(1)-Media(2)	-228.42	
LI(95)	-311.17	
LS(95)	-145.66	
pHomVar	0.1253	
T	-6.15	
p-valor	0.0001	

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

En la Tabla 24 se observan los resultados de la prueba de hipótesis “t de Student para muestras apareadas”, considerando el valor de “p” para ambos casos, no se supera el valor de 0.05, por lo cual, se acepta la hipótesis alterna, es decir, existe diferencia significativa en las concentraciones de plomo que resulte de la presencia de lluvias para ambos acuíferos.

Tabla 24

Resultados de la prueba de t de Student para muestras apareadas, diferencia de medias entre épocas para plomo.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
APE	APA	6	1040.87	1346.87	306	58.54	43.56	<0.0001
AFA	AFA	6	1072.2	1149.78	77.58	29.68	88.5	<0.0001

Fuente: Instrumento de recolección de datos (Elaborado en InfoStat 2016e).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se concluye que existen diferencias significativas para las concentraciones de cadmio y plomo entre ambos acuíferos (acuífero poroso no consolidado alto con las mayores concentraciones), y además una clara diferencia por las épocas, siendo la época de estiaje la que contiene las mayores concentraciones de estos metales. Se evidenció que en la época de avenida, el acuífero fisurado sedimentario tiene mayores concentraciones de hierro en sus aguas con respecto al acuífero poroso no consolidado alto.

Los parámetros físico químicos evaluados muestran que el pH se encontró dentro del rango recomendado para consumo humano en ambas épocas. La cantidad de muestras que superaron los 1500 $\mu\text{S} / \text{cm}$ de conductividad eléctrica durante la época de estiaje y avenida fueron cuatro y nueve, respectivamente. El parámetro de turbiedad no superó los límites establecidos en la época de estiaje, pero en la época de avenida existió una muestra (APA 05 = 6.41 NTU) que sí registró valores superiores a lo recomendado.

Debido a las concentraciones presentes de cadmio y plomo en ambas épocas, el agua subterránea estaría catalogada como no apta para consumo humano.

5.2. Recomendaciones

Realizar una evaluación periódica de la concentración de metales pesados en aguas subterráneas de la ciudad de Juliaca.

Alertar a la población que consume el agua subterránea de la ciudad de Juliaca sobre su calidad, para garantizar las condiciones de salud y bienestar.

Buscar y adecuar tecnologías de remoción, absorción y/o adsorción de elementos traza del agua, brindando opciones cómodas a la situación económica de los pobladores.

Investigar la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca Coata, considerando sus efectos toxicológicos en la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, N., Bodrud-Doza, M., Islam, S. M. D.-U., Choudhry, M. A., Muhib, M. I., Zahid, A., ... Bhuiyan, M. A. Q. (2019). Hydrogeochemical evaluation and statistical analysis of groundwater of Sylhet, north-eastern Bangladesh. *Acta Geochimica*, 38(3), 440–455. <https://doi.org/10.1007/s11631-018-0303-6>
- Aldred, E. M., Buck, C., & Vall, K. (2009). Chapter 8 - Acids and bases. En E. M. Aldred, C. Buck, & K. B. T.-P. Vall (Eds.) (pp. 53–59). Edinburgh: Churchill Livingstone. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-06898-0.00008-6>
- Anim, M., Anornu, G. K., Appiah-Adjei, E. K., & Agodzo, S. K. (2019). Quality and health risk assessment of shallow groundwater aquifers within the Atankwidi basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(December 2018), 100217. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100217>
- Antonelli, M., & Greco, F. (2015). *The Water We Eat*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16393-2>
- Azzellino, A., Colombo, L., Lombi, S., Marchesi, V., Piana, A., Merri, A., & Alberti, L. (2019). Groundwater diffuse pollution in functional urban areas: The need to define anthropogenic diffuse pollution background levels. *Science of the Total Environment*, 656, 1207–1222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.416>
- Belizario, L., & Del Carpio, I. (2018). *Evaluación De Parámetros Para La Remoción De Punta De Bombón Usando Zeolita Natural Arequipa – Perú*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Blanes, Patricia S, & Giménez, María C. (2006). Evaluation of Iron and Arsenic Levels in Natural Groundwater of the Central-west Region of the Province of Chaco - Argentina. *Información tecnológica*, 17(3), 3-8. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300002>
- Bodrud-Doza, M., Bhuiyan, M. A. H., Islam, S. M. D. U., Quraishi, S. B., Muhib, M. I., Rakib, M. A., & Rahman, M. S. (2019). Delineation of trace metals contamination in groundwater using geostatistical techniques: A study on Dhaka City of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(August 2018).

<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.03.006>

- Bodrud-Doza, M., Didar-UI Islam, S. M., Tareq Hasan, M., Alam, F., Morshedul Haque, M., Rakib, M. A., ... Abdur Rahman, M. (2019). Groundwater pollution by trace metals and human health risk assessment in central west part of Bangladesh. *Groundwater for Sustainable Development*, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100219>
- Boreiko, C. J. (2009). SAFETY | Materials Toxicity. En J. B. T.-E. of E. P. S. Garche (Ed.) (pp. 233–240). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00393-2>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017). Chapter 7 - Chemistry, Microbiology and Biology of Water. En M. J. Brandt, K. M. Johnson, A. J. Elphinston, & D. D. B. T.-T. W. S. (Seventh E. Ratnayaka (Eds.) (pp. 235–321). Boston: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00007-7>
- Brunner, P. (2019). *Hydrogeology: Groundwater Science and Engineering. Groundwater* (Vol. 57). <https://doi.org/10.1111/gwat.12871>
- Calsín, K. V. (2016). Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno - 2016, 1–64.
- Carmona, K. J. (2018). Determinación de plomo y dureza cálcica en agua de consumo humano de Caja de Agua – San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017. *Universidad Privada Norbert Wiener*. Recuperado de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/xmlui/handle/123456789/1657>
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Mondal, G. C., Kumar, V., Singh, P. K., & Singh, A. K. (2019). Exploring new correlation between hazard index and heavy metal pollution index in groundwater. *Ecological Indicators*, 97(April 2018), 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.023>
- Curo, M. (2017). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de pozos con fines de consumo humano en el distrito de Huata – Puno, 2016. *Salud en tabasco*, 29(1), 1–

4. https://doi.org/10.1007/8904_2014_350
- Das, J. (2003). Geochemistry of Trace Elements in the Ground Water of Cuttack City, India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 147(1), 129–140. <https://doi.org/10.1023/A:1024569422322>
- Demirel, Z. (2007). Monitoring of heavy metal pollution of groundwater in a phreatic aquifer in Mersin-Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1–3), 15–23. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9498-9>
- Dirección General de Salud. (2017). Parámetros Organolépticos Y Físico - Químico. *Digesa- Gesta Agua*, 145. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf
- Duruibe, J., C. O., & Egwurugwu, J. (2007). Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *Int. J. Phys. Sci.*, 2, 112–118.
- Dzyadevych, S., & Jaffrezic, N. (2014). 6 - Conductometric biosensors. En R. P. B. T.-B. I. Schaudies (Ed.) (pp. 153–193). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857099167.2.153>
- Edet, A., Nganje, T. N., Ukpogon, A. J., & Ekwere, A. S. (2011). Groundwater chemistry and quality of Nigeria: A status review. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(13), 1152–1169. <https://doi.org/10.5897/ajestx11.011>
- Escrig, I., & Morell, I. (1996). Origen y Comportamiento de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en el Subsistema Acuífero de la Plana de Castellón. *Estudios de Geología*, 52(1 996), 259–268.
- Fernández, B., Lobo, L., & Pereiro, R. (2018). *Atomic Absorption Spectrometry: Fundamentals, Instrumentation and Capabilities. Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* (3a ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.14116-2>
- Fourati, N., Blel, N., Lattach, Y., Ktari, N., & Zerrouki, C. B. T.-R. M. in M. S. and M. E. (2016). Chemical and Biological Sensors from Conducting and Semiconducting Polymers. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581->

- GEOCATMIN. (2013). Sistema de Información Geológico y Catastro Minero. Recuperado el 12 de mayo de 2019, de <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- George, C. M., Sima, L., Helena, M., Arias, J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., ... Marie, C. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru, (June), 565–572.
- Gerber, G. B., Léonard, A., & Hantson, P. (2002). Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 42(1), 25–34. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1040-8428\(01\)00178-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1040-8428(01)00178-0)
- Giri, S., & Singh, A. K. (2015). Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subarnarekha River Basin, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3), 63. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4265-4>
- Głąb, S., & Hulanicki, A. (2005). pH. En P. Worsfold, A. Townshend, & C. B. T.-E. of A. S. (Second E. Poole (Eds.) (pp. 72–78). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00445-3>
- Gonzales, R. (2018). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano señor de los milagros, distrito de Yarinacocha- Región Ucayali- 2018*. Universidad Nacional de Ucayali.
- Hamadoun, B., Tang, J., & Lin, N. (2004). Groundwater quality and contamination index mapping in Changchun City, China. *Chinese Geographical Science*, 14(1), 63–70. <https://doi.org/10.1007/s11769-004-0010-6>
- Heikkinen, T., Drinking, A., Quality, W., Main, W., Program, F., Program, C. C., & Program, W. P. (2016). *Water Quality An Introduction* (Third). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Idrees, N., Tabassum, B., Abd Allah, E. F., Hashem, A., Sarah, R., & Hashim, M. (2018). Groundwater contamination with cadmium concentrations in some West U.P.

- Regions, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(7), 1365–1368.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.005>
- Inocencio, D., Velázquez, M. A., Pimente, J. L., Montañez, J. L., & Venegas, J. (2013). Hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del Río Duero y normatividad para uso doméstico. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 111–126.
- Islam, J., Hakim, A., Hanafi, M. M., Juraimi, A. S., Sarkar, R. R., Hossain, A. M., ... Kashem, A. (2014). Assessing groundwater stoichiometric composition and its suitability in Northwestern Bangladesh. *Ciência Rural*, 44(7), 1210–1218.
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130712>
- Islam, S. M. D. U., Majumder, R. K., Uddin, M. J., Khalil, M. I., & Ferdous, M. (2017). Hydrochemical Characteristics and Quality Assessment of Groundwater in Patuakhali District, Southern Coastal Region of Bangladesh. *Exposure and Health*, 9(1), 43–60. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0221-y>
- James, K. A., Meliker, J. R., & Nriagu, J. O. (2017). Arsenic. En S. R. B. T.-I. E. of P. H. (Second E. Quah (Ed.) (pp. 170–175). Oxford: Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00025-4>
- Jia, Z., Bian, J., & Wang, Y. (2018). Impacts of urban land use on the spatial distribution of groundwater pollution, Harbin City, Northeast China. *Journal of Contaminant Hydrology*, 215(June), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.06.005>
- Jickells, T. D., & Baker, A. R. (2014). *Biogeochemical cycles: Heavy Metals. Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition* (Second Edi, Vol. 1). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00018-9>
- Jordana, S., & Batista, E. (2004). Natural groundwater quality and health. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1344/105.000001438>
- Koh, D.-C., Chae, G.-T., Ryu, J.-S., Lee, S.-G., & Ko, K.-S. (2016). Occurrence and mobility of major and trace elements in groundwater from pristine volcanic aquifers in Jeju Island, Korea. *Applied Geochemistry*, 65, 87–102.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.11.004>

- Kole, R. K., Mandai, S. K., Kar, D., Saha, T., & Sur, P. (2013). Assessment of heavy metal pollution in surface water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(1), 119–124. <https://doi.org/10.1007/bf03326004>
- Kumar, M., Das, A., Das, N., Goswami, R., & Singh, U. K. (2016). Co-occurrence perspective of arsenic and fluoride in the groundwater of Diphu, Assam, Northeastern India. *Chemosphere*, 150, 227–238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.019>
- Kumar, M., Furumai, H., Kurisu, F., & Kasuga, I. (2009). Understanding the partitioning processes of mobile lead in soakaway sediments using sequential extraction and isotope analysis. *Water Science and Technology*, 60(8), 2085–2091. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.512>
- Lee, C. S., Lee, Y. C., & Chiang, H. M. (2016). Abrupt state change of river water quality (turbidity): Effect of extreme rainfalls and typhoons. *Science of the Total Environment*, 557–558, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.213>
- Li, D., & Liu, S. (2018). *Groundwater Quality Detection. Water Quality Monitoring and Management*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811330-1.00011-9>
- Luz, A. L., Wu, X., & Tokar, E. J. (2018). Chapter One - Toxicology of Inorganic Carcinogens. En J. C. Fishbein & J. M. B. T.-A. in M. T. Heilman (Eds.) (Vol. 12, pp. 1–46). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64199-1.00002-6>
- Mattos, J. B., Cruz, M. J. M., De Paula, F. C. F., & Sales, E. F. (2018). Spatio-seasonal changes in the hydrogeochemistry of groundwaters in a highland tropical zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 88, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.023>
- Milatovic, D., Gupta, R. C., Yin, Z., Zaja-Milatovic, S., & Aschner, M. (2017). Chapter 32 - Manganese. En R. C. B. T.-R. and D. T. (Second E. Gupta (Ed.) (pp. 567–581). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804239-7.00032-9>
- MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y

- establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano Official Newspaper*, 6–9. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, & Municipalidad Provincial de San Román. (2016). *Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de San Román 2016 - 2025*. Juliaca.
- MINSA. (2011). DS N° 031-2019-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 1–44.
- Mukherjee, A., Gupta, S., Coomar, P., Fryar, A. E., Guillot, S., Verma, S., ... Charlet, L. (2019). Plate tectonics influence on geogenic arsenic cycling: From primary sources to global groundwater enrichment. *Science of the Total Environment*, 683, 793–807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.255>
- Naz, A., Chowdhury, A., Mishra, B. K., & Gupta, S. K. (2016). Metal pollution in water environment and the associated human health risk from drinking water: A case study of Sukinda chromite mine, India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(7), 1433–1455. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1185355>
- Odukoya, A. M. (2015). Geochemical and quality assessment of groundwater in some Nigerian basement complex. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(11), 3643–3656. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0789-y>
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*.
- Ordoñez, J. . (2011). Aguas Subterráneas - Acuíferos. *Sociedad Geografica de Lima*, 2–44.
- Pal, P. (2015). Chapter 1 - Introduction to the Arsenic Contamination Problem. En P. B. T.-G. A. R. Pal (Ed.) (pp. 1–23). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801281-9.00001-1>
- Parra, L., Rocher, J., Escrivá, J., & Lloret, J. (2018). Design and development of low cost

- smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. *Aquacultural Engineering*, 81, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.004>
- Pawar, N. J., & Nikumbh, J. D. (1999). Trace element geochemistry of groundwater from Behedi basin, Nasik district, Maharashtra. *Journal of the Geological Society of India*, 54(5), 501–514.
- Prasad, M., Sunitha, V., Reddy, Y. S., Suvarna, B., Reddy, B. M., & Reddy, M. R. (2019). Data on water quality index development for groundwater quality assessment from Obulavaripalli Mandal, YSR district, A.P India. *Data in Brief*, 24, 103846. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103846>
- Price, M., Carrillo, J., & Cardona, A. (2003). Agua subterránea. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Agua_subterránea.html?id=LGvkAAAA_CAAJ&redir_esc=y
- Pye, V. I., & Kelley, J. (1984). *The Extent of Groundwater Contamination in the United States. Groundwater Contamination*.
- Qiao, J., Zhu, Y., Jia, X., Shao, M., Niu, X., & Liu, J. (2020). Distributions of arsenic and other heavy metals, and health risk assessments for groundwater in the Guanzhong Plain region of China. *Environmental Research*, 181, 108957. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108957>
- Rahman, M. S., & Gagnon, G. A. (2014). Bench-scale evaluation of drinking water treatment parameters on iron particles and water quality. *Water Research*, 48, 137–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.018>
- Rani, A., Kumar, A., Lal, A., & Pant, M. (2014). Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: a review. *International Journal of Environmental Health Research*, 24(4), 378–399. <https://doi.org/10.1080/09603123.2013.835032>
- Ranjan, P., Kumar, M., Singh, V. B., Ramanathan, A., Soheb, M., Tripathi, R., & Nagdev, R. (2018). Geospatial and multivariate analysis of trace metals in tubewell water using for drinking purpose in the upper Gangetic basin, India: Heavy metal pollution index. *Groundwater for Sustainable Development*, 8(July 2018), 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.10.001>

- Ravindra, K., & Mor, S. (2019). Distribution and health risk assessment of arsenic and selected heavy metals in Groundwater of Chandigarh, India. *Environmental Pollution*, 250, 820–830. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.080>
- Sarkar, A., & Shekhar, S. (2018). Iron contamination in the waters of Upper Yamuna basin. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.011>
- Şen, Z. (2015). Practical and applied hydrogeology. En Z. B. T.-P. and A. H. Şen (Ed.) (pp. 43–97). Oxford: Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800075-5.00002-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800075-5.00002-9)
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. (L. (Universidad de M. López Escobar, Ed.) (1a ed.). Medellín: Ediciones de la U.
- Solís, Y., Zúñiga, L. A., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. *Decision Support Systems*, 119(March), 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.02.009>
- Stoeppler, M. (1992). Chapter 8 - Cadmium. En M. B. T.-T. and I. in A. C. Stoeppler (Ed.), *Hazardous Metals in the Environment* (Vol. 12, pp. 177–230). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-9244\(08\)70107-0](https://doi.org/10.1016/S0167-9244(08)70107-0)
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters* (3rd ed.). New York: Wiley. Recuperado de <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:001048072>
- Tangstad, M. (2013). Chapter 7 - Manganese Ferroalloys Technology. En M. B. T.-H. of F. Gasik (Ed.) (pp. 221–266). Oxford: Butterworth-Heinemann. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097753-9.00007-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097753-9.00007-1)
- Taniguchi, M., Wang, K., & Gamo, T. (2003). *Land and Marine Hydrogeology*. *Land and Marine Hydrogeology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51479-0.X5013-4>

- Tapia, J., Murray, J., Ormachea, M., Tirado, N., & Nordstrom, D. K. (2019). Origin, distribution, and geochemistry of arsenic in the Altiplano-Puna plateau of Argentina, Bolivia, Chile, and Perú. *Science of the Total Environment*, 678, 309–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.084>
- Tweed, S., Massuel, S., Seidel, J. L., Chhuon, K., Lun, S., Eang, K. E., ... Leblanc, M. (2020). Seasonal influences on groundwater arsenic concentrations in the irrigated region of the Cambodian Mekong Delta. *Science of The Total Environment*, 728, 138598. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138598>
- Vatandoost, M., Naghipour, D., Omid, S., & Ashrafi, S. D. (2018). Survey and mapping of heavy metals in groundwater resources around the region of the Anzali International Wetland; a dataset. *Data in Brief*, 18, 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.058>
- Velázquez, M. A., Pimentel, J. L., & Ortega, M. (2011). Estudio de la distribución de boro en fuentes de agua de la cuenca del río Duero, México, utilizando análisis estadístico multivariado. *Revista internacional de contaminación ambiental*. scielomx.
- Wang, Y., Jiao, J. J., Zhang, K., & Zhou, Y. (2016). Enrichment and mechanisms of heavy metal mobility in a coastal quaternary groundwater system of the Pearl River Delta, China. *Science of The Total Environment*, 545–546, 493–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.019>
- Watson, W. H. (2015). Chapter Two - Molecular Mechanisms in Arsenic Toxicity. En J. C. Fishbein & J. M. B. T.-A. in M. T. Heilman (Eds.) (Vol. 9, pp. 35–75). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802229-0.00003-7>
- Wen, J., Tang, C., Cao, Y., Li, X., & Chen, Q. (2019). Assessment of trace metals in an aquifer with river-groundwater interaction: The influence of colloidal redistribution and porous matrix change on the migration of metals. *Chemosphere*, 223, 588–598. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.184>
- Woessner, W. W. (2000). Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. *Groundwater*, 38(3), 423–429. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2000.tb00228.x>

- Yadav, M., Gupta, R., & Sharma, R. K. (2019). *Green and Sustainable Pathways for Wastewater Purification. Advances in Water Purification Techniques*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814790-0.00014-4>
- Yusuf, A., Olasehinde, A., Mboringong, M. N., Tabale, R. P., & Daniel, E. P. (2018). Evaluation of heavy metals concentration in groundwater around Kashere and its environs, upper Benue trough, Northeastern Nigeria. *Global Journal of Geological Sciences*, 16(1), 25. <https://doi.org/10.4314/gjgs.v16i1.4>
- Zereg, S., Boudoukha, A., & Benaabidate, L. (2018). Impacts of natural conditions and anthropogenic activities on groundwater quality in Tebessa plain, Algeria. *Sustainable Environment Research*, 28(6), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.05.003>

ANEXOS

ANEXO I
Panel fotográfico



Figura 18. Muestreo de las aguas subterráneas



Figura 19. Determinación de pH y georreferenciación de puntos de monitoreo.



Figura 20. Almacenamiento y preservación de muestras para traslado a laboratorio.



Figura 21. Determinación de parámetros físico químicos.



Figura 22. Determinación de metales pesados por espectroscopía de absorción atómica mediante flama

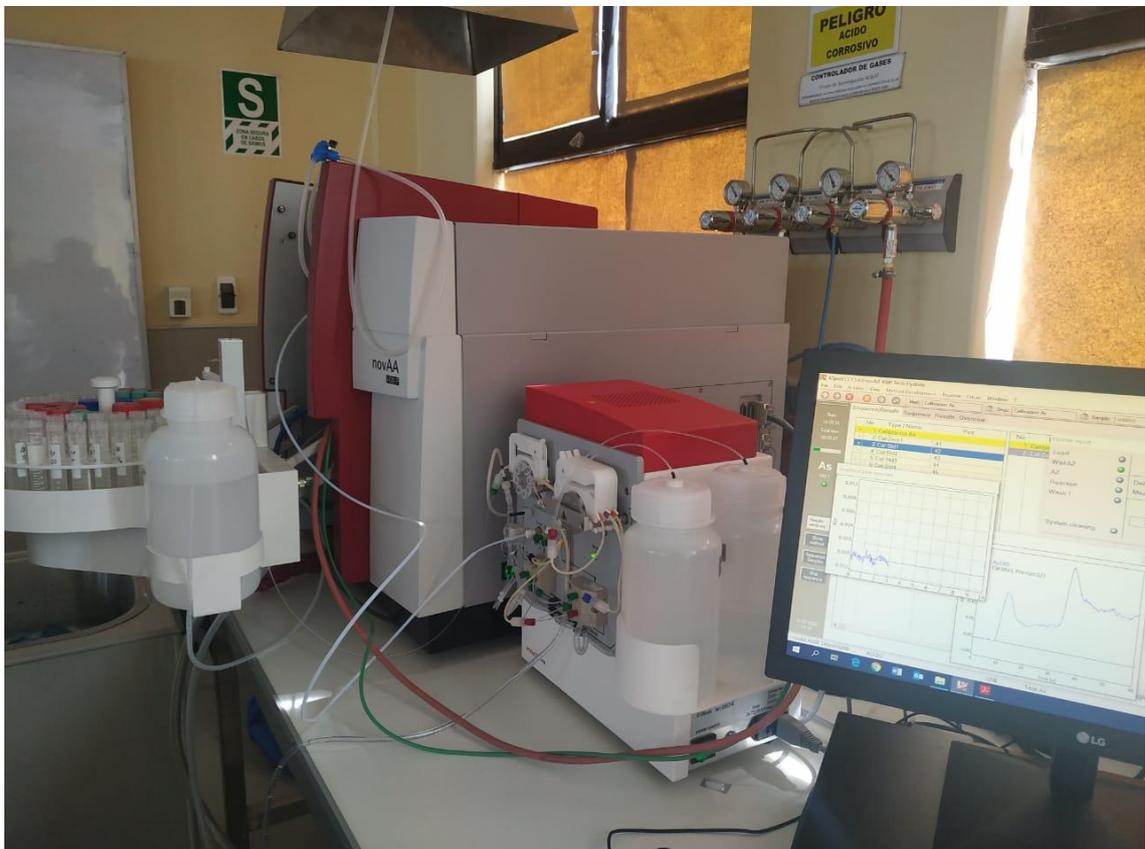


Figura 23. Determinación de As por el método de absorción atómica mediante generación de hidruros.

ANEXO II

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA/DISEÑO
<p>Problema General ¿Cuáles son los parámetros físico químicos y metales pesados de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?</p> <p>Problemas Específicos ¿En qué valores se encuentran los parámetros físico químicos de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?</p> <p>¿En qué concentraciones se encuentran los metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca?</p>	<p>Objetivo General Determinar los parámetros físico químicos y metales pesados de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Objetivos Específicos Cuantificar los valores de los parámetros físico químicos de las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.</p> <p>Evaluar la concentración de metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto en la ciudad de Juliaca.</p>	<p>Hipótesis General Hay diferencias significativas en los valores de los parámetros físico químicos y las concentraciones de metales pesados en las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Hipótesis Específicas Las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto no son aptas para consumo humano debido a que los valores de sus parámetros fisicoquímicos no se encuentran dentro los límites permitidos. Las aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto no son aptas para consumo humano debido a que sus concentraciones de metales pesados superan los límites permitidos.</p>	<p>Variable de caracterización Acuíferos en Juliaca Acuífero fisurado sedimentario. Acuífero poroso no consolidado alto.</p> <p>Variables de interés Parámetros físico químicos pH, turbiedad, conductividad Metales Pesados As, Cd, Fe, Mn y Pb</p>	<p>Método: Cuantitativo</p> <p>Tipo de investigación: Básico - prospectivo</p> <p>Nivel: Descriptivo – comparativo</p> <p>Diseño: No experimental - Longitudinal</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA Población Pozos de la ciudad de Juliaca</p> <p>Muestra 06 pozos por acuífero - muestreo no probabilístico intencional.</p> <p>Recolección de datos Análisis de Laboratorio</p>

ANEXO III

Informe de ensayo de parámetros físico químicos y metales pesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

Laboratorios Generales

Av. Nueva Zelandia N° 631 Urb. La Capilla - Juliaca

Universidad
LICENCIADA

INFORME DE ENSAYO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Hoja de Resultados

13/03/2020

Investigación: Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

Bach.: Diego Wilman De La Cruz Paredes

Código Interno	Nombre de la muestra	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	Turbiedad (NTU)
APE-01	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 01	2190	0.13
APE-02	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 02	1204	0.58
APE-03	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 03	1295	1.29
APE-04	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 04	773	0.87
APE-05	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 05	728	0.58
APE-06	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 06	2730	0.66
AFE-01	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 01	1019	0.73
AFE-02	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 02	551	0.65
AFE-03	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 03	1730	0.27
AFE-04	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 04	2990	2.83
AFE-05	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 05	1513	0.93
AFE-06	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 06	1422	1.73

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS Y GABINETES
Dr. José Luis Pineda Tapia
DIRECTOR

INFORME DE ENSAYO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Hoja de Resultados

13/03/2020

Investigación: Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

Bach.: Diego Wilman De La Cruz Paredes

Código Interno	Nombre de la muestra	Conductividad Eléctrica (µS / cm)	Turbiedad (NTU)
APA-01	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 01	2390	1.34
APA-02	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 02	3890	4.69
APA-03	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 03	1895	0.82
APA-04	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 04	1921	0.56
APA-05	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 05	1066	6.41
APA-06	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 06	1591	1.95
AFA-01	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 01	1202	0.82
AFA-02	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 02	257	1.28
AFA-03	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 03	1701	0.71
AFA-04	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 04	2770	1.39
AFA-05	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 05	1554	1.17
AFA-06	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 06	1767	0.66

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS Y GABINETES
Dr. José Luis Pineda Tapia
DIRECTOR

INFORME DE ENSAYO DE METALES PESADOS

Hoja de Resultados

13/03/2020

Investigación: Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

Bach.: Diego Wilman De La Cruz Paredes

Código Interno	Nombre de la muestra	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (µg/L)
APE-01	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 01	1.17	52.30	0.19	0.02	1433.7
APE-02	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 02	1.04	50.70	0.20	<0.0001	1424.2
APE-03	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 03	0.69	47.95	0.19	<0.0001	1429.2
APE-04	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 04	3.19	46.60	0.19	0.99	1304.2
APE-05	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 05	0.57	42.60	0.17	0.12	1266.7
APE-06	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de estiaje 06	1.09	43.35	0.20	<0.0001	1223.2
AFE-01	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 01	0.55	41.10	0.17	<0.0001	1152.7
AFE-02	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 02	0.31	39.00	0.27	<0.0001	1209.2
AFE-03	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 03	1.14	36.40	0.19	<0.0001	1157.7
AFE-04	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 04	1.16	42.10	0.20	0.16	1224.2
AFE-05	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 05	0.61	35.90	0.21	<0.0001	1072.2
AFE-06	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de estiaje 06	1.54	35.75	0.21	0.29	1082.7

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS Y GABINETES
Dr. José Luis Pineda Tapia
DIRECTOR

INFORME DE ENSAYO DE METALES PESADOS

Hoja de Resultados

13/03/2020

Investigación: Parámetros físico químicos y metales pesados en aguas del acuífero fisurado sedimentario y el acuífero poroso no consolidado alto de la ciudad de Juliaca.

Bach.: Diego Wilman De La Cruz Paredes

Código Interno	Nombre de la muestra	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (µg/L)
APA-01	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 01	1.03	25.15	0.22	0.02	429.00
APA-02	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 02	0.36	15.10	0.26	<0.0001	370.00
APA-03	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 03	1.22	9.85	0.22	<0.0001	281.00
APA-04	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 04	5.36	7.45	0.24	0.01	311.00
APA-05	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 05	0.27	5.90	0.25	<0.0001	220.00
APA-06	Agua subterránea de acuífero poroso temporada de avenida 06	0.70	1.00	0.25	0.16	225.00
AFA-01	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 01	0.36	<0.1	0.24	<0.0001	76.50
AFA-02	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 02	0.20	6.50	0.28	<0.0001	101.00
AFA-03	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 03	1.11	<0.1	0.25	<0.0001	92.00
AFA-04	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 04	1.09	6.90	0.29	0.10	128.00
AFA-05	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 05	0.54	9.35	0.30	<0.0001	49.00
AFA-06	Agua subterránea de acuífero fisurado temporada de avenida 06	0.35	9.40	0.30	0.03	19.00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS Y GABINETES

Dr. José Luis Pineda Tapia
DIRECTOR

ANEXO IV

Normatividad referente a límites máximos permisibles de aguas para consumo humano

(DS N° 031-2010-SA)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

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

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS**

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

ANEXO V

Detalle técnico metodológico para la determinación de metales pesados por EAA

Cookbook page

AspectLS 1.5.4.0

As

Hydride (Continuous)

novAA 400P

Performance: As

		Area(A)	Height(H)
Charact. concentration	[µg/L/1%Abs]	: 0.008	0.15
Check concentration ("0.1 Abs.")	[µg/L]	: 0.18	3.4
Detection limit	[µg/L]	: 0.08	0.04

Spectrometer

Main line	[nm]	: 193.7	
Alternat. line	[nm]	: 197.2	-2.0x
Slit width	[nm]	: 1.2	
HCL current	[mA]	: 6.0	

Atomizer: Quartz cell

Temperature	[°C]	: 950
Gas flow	[NL/h]	: 6
Reaction time	[s]	: 20
Purge time1	[s]	: 40

Notes

Sample solution	: As[3+] in HCl/3%
Reducing agent	: NaBH ₄ /0.3% + NaOH/0.1%
Acid	: HCl/3%
Interferences	: ---
Further alternative lines	: ---
Background correction	: ---
Contaminations	: Blank value problems in HCl
Element is toxic - careful handling!	

B

Flame (Absorption)

novAA 400P

Performance: B

Charact. concentration	[mg/L/1%Abs]	:	11
Check concentration ("0.1 Abs.")	[mg/L]	:	210

Typical value ($\pm 30\%$) for 50mm-burner and C₂H₂/N₂O flame

Spectrometer

Main line	[nm]	:	249.7
Alternat. line	[nm]	:	208.9 -2.4x
Slit width	[nm]	:	1.2
HCL current	[mA]	:	8.0

Atomizer: Flame

Flame	:	C ₂ H ₂ /N ₂ O	
C/O-Stoichiometric	:	0.67	
Fuel flow	[NL/h]	:	245
Usable burner height	[mm]	:	6 - 9
Alternative flame	:	---	

Notes

Diluent for stock solution	:	Deionized water
Ionisation buffer	:	KCl/0.1% or CsCl/0.1%
Interferences	:	---
Further alternative lines	:	---
Background correction	:	necessary!
Super-HCL	:	---
Contaminations	:	---

Cd

Flame (Absorption)

novAA 400P

Performance: Cd

Charact. concentration	[mg/L/1%Abs]	:	0.012
Check concentration ("0.1 Abs.")	[mg/L]	:	0.25

Typical value ($\pm 30\%$) for 100mm-burner and C2H2/air flame

Spectrometer

Main line	[nm]	:	228.8
Alternat. line	[nm]	:	226.5 -28x
Slit width	[nm]	:	1.2
HCL current	[mA]	:	2.0

Atomizer: Flame

Flame	:	C2H2/Air	
C/O-Stoichiometric	:	0.075	
Fuel flow	[NL/h]	:	50
Usable burner height	[mm]	:	4 - 12
Alternative flame	:	---	

Notes

Diluent for stock solution	:	HNO3/1%
Ionisation buffer	:	KCl/0.1% or CsCl/0.1%
Interferences	:	As 228.9 nm / Fe 228.8 nm
Further alternative lines	:	326.1 nm - 215x
Background correction	:	---
Super-HCL	:	recommended (3/5 mA)
Contaminations	:	Significant - check all reagent and sample vessels on blank signals!
Element is toxic - careful handling!		

Fe

Flame (Absorption)

novAA 400P

Performance: Fe

Charact. concentration	[mg/L/1%Abs]	:	0.08
Check concentration ("0.1 Abs.")	[mg/L]	:	1.6

Typical value ($\pm 30\%$) for 100mm-burner and C2H2/air flame

Spectrometer

Main line	[nm]	: 248.3
Alternat. line	[nm]	: 248.8 -1.7x
Slit width	[nm]	: 0.2
HCL current	[mA]	: 4.0

Atomizer: Flame

Flame	:	C2H2/Air
C/O-Stoichiometric	:	0.13
Fuel flow	[NL/h]	: 65
Usable burner height	[mm]	: 5 - 11
Alternative flame	:	---

Notes

Diluent for stock solution	:	HNO3/1%
Ionisation buffer	:	KCl/0.1% or CsCl/0.1%
Interferences	:	---
Further alternative lines	:	252.3 nm - 1.8x / 373.7 nm - 11x
Background correction	:	---
Super-HCL	:	recommended
Contaminations	:	Significant - check all reagent and sample vessels on blank signals!

Signal depressions by Al, Si, Mn, Ni, Co and organic matrixes are possible!

Mn

Flame (Absorption)

novAA 400P

Performance: Mn

Charact. concentration	[mg/L/1%Abs]	:	0.03
Check concentration ("0.1 Abs.")	[mg/L]	:	0.60

Typical value ($\pm 30\%$) for 100mm-burner and C2H2/air flame

Spectrometer

Main line	[nm]	: 279.5
Alternat. line	[nm]	: 279.8 -1.3x
Slit width	[nm]	: 0.2
HCL current	[mA]	: 5.0

Atomizer: Flame

Flame	:	C2H2/Air
C/O-Stoichiometric	:	0.155
Fuel flow	[NL/h]	: 60
Usable burner height	[mm]	: 5 - 9
Alternative flame	:	---

Notes

Diluent for stock solution	:	HNO3/1%
Ionisation buffer	:	KCl/0.1% or CsCl/0.1%
Interferences	:	Mg 279.5 nm / Fe 279.5 nm
Further alternative lines	:	280.1 nm - 2.1x / 403.1 nm - 11x
Background correction	:	---
Super-HCL	:	---
Contaminations	:	---

Pb

Flame (Absorption)

novAA 400P

Performance: Pb

Charact. concentration	[mg/L/1%Abs]	:	0.3
Check concentration ("0.1 Abs.")	[mg/L]	:	7.0

Typical value ($\pm 30\%$) for 100mm-burner and C2H2/air flame

Spectrometer

Main line	[nm]	: 283.3
Alternat. line	[nm]	: 217.0 -0.5x
Slit width	[nm]	: 1.2
HCL current	[mA]	: 2.0

Atomizer: Flame

Flame	:	C2H2/Air
C/O-Stoichiometric	:	0.13
Fuel flow	[NL/h]	: 65
Usable burner height	[mm]	: 5 - 10
Alternative flame	:	---

Notes

Diluent for stock solution	:	HNO3/1%
Ionisation buffer	:	KCl/0.1% or CsCl/0.1%
Interferences	:	Cu 216.5 nm / Fe 216.7 nm / Ni 216.6 nm Sb 217.6 nm / Pt 216.5 nm
Further alternative lines	:	261.4 nm - 17x / 368.3 nm - 30x
Background correction	:	---
Super-HCL	:	recommended (6/8 mA)
Contaminations	:	---

Element is toxic - careful handling!

UNW