



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E

INGENIERÍA METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DE LAS
AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD DE CARATA DEL
DISTRITO DE COATA, PUNO – 2021.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DIEGO ALEX CAHUAYA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO - PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD DE CARATA DE L DI

AUTOR

DIEGO ALEX CAHUAYA MAMANI

RECUENTO DE PALABRAS

15184 Words

RECUENTO DE CARACTERES

72626 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

69 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.5MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 21, 2022 9:19 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 21, 2022 9:20 AM GMT-5

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Bloques de texto excluidos manualmente



Firmado digitalmente por APAZA CAMPOS Victoriano Rolando FAU 20145495170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.12.2022 10:17:16 -05:00



Firmado digitalmente por BENAVENTE FERNANDEZ Sofia Lourdes FAU 20145495170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17.04.2023 10:51:01 -05:00



DEDICATORIA

Al Padre Innominado por brindarme fortaleza, confianza, valor y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos.

A mis padres Victoria y Andrés, quienes con mucho amor y paciencia me apoyaron en mis estudios.

A mis hermanos David, Yeser, Blanca y Franklin por brindarme su apoyo permanente, por alentarme a seguir por cada meta trazada.

Al amor de mi vida Alioska, a mi gran apoyo y fortaleza.

A mis amigos Herlin y Jhon por su apoyo incondicional.

Diego Cahuaya Mamani



AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi Asesor el Dr. Rolando Apaza Campos, quien con su conocimiento y apoyo me guio y recomendó en el desarrollo de este proyecto logrando así el objetivo trazado.

A la Universidad Nacional del Altiplano y al Mega Laboratorio del mismo, en especial a la Ing. Roxana Medrano Pari por el ímpetu por brindar toda su disponibilidad y apoyo en los análisis químicos, salidas de campo y hacer realidad esta investigación.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y la Autoridad Administrativa del Agua – Juliaca, por brindarme su apoyo con Multiparámetro.

A mi familia, novia, amigos y toda persona que hizo posible esta realización, les agradezco de corazón, por aportar con su tiempo, paciencia, constancia y apoyo incondicional que me brindaron.

Diego Cahuaya Mamani



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLA

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES..... 17

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 18

1.2.1 Identificación del problema..... 18

1.2.2 Valoración del problema 18

1.2.3 Formulación del problema 18

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO 19

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 20

1.5.1 Objetivo general 20



1.5.2	Objetivos específicos	20
-------	-----------------------------	----

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	21
2.1.1.	Antecedentes internacionales	21
2.1.2.	Antecedentes nacionales	22
2.1.3.	Antecedentes locales	23
2.2.	MARCO TEÓRICO	26
2.2.1.	Hidrogeoquímica.....	26
2.2.2.	Componentes del agua subterránea.....	27
2.2.3.	Características físico-químicas del agua	27
2.2.4.	Interpretación de datos hidroquímicos	29
2.2.5.	Mapas hidroquímicos	31
2.2.6.	Principales procesos de interaccion agua – roca	32
2.2.7.	Estándares de calidad ambiental del agua (ECA)	34
2.2.8.	Calidad del agua del minsa	36

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	37
3.1.1.	Levantamiento hidrogeológico.....	37
3.1.2.	Perforación exploratoria.....	37
3.1.3.	Muestreo de agua	37



3.1.4. Análisis en laboratorio	38
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39
1.5.3 Consideraciones conceptuales.....	39
CAPITULO IV	
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
4.1. UBICACIÓN	42
4.2. ACCESO	42
4.3. POBLACIÓN	44
4.4. CLIMA Y FAUNA	44
4.5. GEOMORFOLOGÍA	45
4.6. GEOLOGÍA REGIONAL.....	45
4.6.1. Formación ayavacas (Kis-ay).....	45
4.6.2. Formación muñani (P-mu)	46
4.6.3. Grupo puno (P-pu)	46
4.6.4. Depósitos aluvial (Qh-al)	46
4.7. GEOLOGÍA LOCAL	47
4.7.1. Depósitos aluviales (Qh-al 1).....	47
4.7.2. Depósitos aluviales (Qh-al 2).....	47
4.8. HIDROGEOLOGÍA DE LA COMUNIDAD DE CARATA	47
4.8.1. Mapeo hidrogeológico	47
4.8.2. Sondajes de reconocimiento.....	52
4.8.3. Niveles y evolución de aguas subterráneas	59



4.8.4.	Dirección de flujo de agua subterránea	60
4.8.5.	Hidrogeología de la zona de estudio	61
4.9.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS HIDROQUÍMICOS	62
4.9.1.	Correlación de conductividad eléctrica y solidos totales disueltos	62
4.9.2.	Cálculo de error balance iónico (EBI)	63
4.10.	HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	64
4.10.1.	Muestreo.....	65
4.10.2.	Calidad de aguas superficiales y subterráneas	66
4.10.3.	Facies hidroquímicas.....	76
4.11.	MOVILIDAD DEL ARSÉNICO	78
4.11.1.	Movilidad	80
CAPITULO V		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
5.1.	CALIDAD DEL AGUA SEGÚN ECA.....	82
5.2.	CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL REGLAMENTO DEL MINSA.....	83
5.3.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGÍCAS	84
5.4.	CALIDAD HIDROQUÍMICA.....	87
5.5.	METALES PESADOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	87
VI.	CONCLUSIONES	90
VII.	RECOMENDACIONES	91
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	92
ANEXOS.....		99



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de los componentes del agua subterránea (Martínez y Castaño, 2006).....	27
Figura 2.	Diagrama de Stiff modificado (Mariño y García, 2018)	30
Figura 3.	Diagrama de Piper (Hill Langelier).....	31
Figura 4.	Diagrama Eh-pH de especies acuosas del As (Mariño y García, 2018)....	34
Figura 5.	Materiales y Equipos	39
Figura 6.	Trabajos en campo y Laboratorio	41
Figura 7.	Plano de Ubicación.....	42
Figura 8.	Inventario de fuentes de agua subterránea.....	48
Figura 9.	Distribución del pH en dos temporadas de aguas subterráneas y superficiales.....	51
Figura 10.	Distribución de CE en dos temporadas de aguas subterráneas y superficiales.....	52
Figura 11.	Ubicación de los Sondales de Reconocimiento.....	53
Figura 12.	Perforación en el sondaje de reconocimiento SR-01.....	54
Figura 13.	Perforación en el Sondaje de reconocimiento SR-02	56
Figura 14.	Perforación en el sondaje de reconocimiento SR-03.....	57
Figura 15.	Detección de elementos químicos en suelo	58
Figura 16.	Dirección de flujo en aguas subterráneas	61
Figura 17.	Correlación de TDS Vs CE.	63
Figura 18.	EBI de muestras de agua subterránea y superficial	64



Figura 19.	Procesos de muestreo, medida de parámetros y entrega a Laboratorio.....	65
Figura 20.	Conductividad Eléctrica y pH en el muestreo.	67
Figura 21.	Oxígeno Disuelto y Solidos Totales en Suspensión	68
Figura 22.	Diagrama de barras para concentración de cloruros.....	69
Figura 23.	Diagrama de barras para la concentración de la Dureza	70
Figura 24.	Diagrama de Torta en Cationes y Aniones.....	72
Figura 25.	Distribución de As en aguas subterráneas y superficiales.....	73
Figura 26.	Distribución del Mn en aguas subterráneas y superficiales.....	74
Figura 27.	Distribución del Se en aguas subterráneas y superficiales	75
Figura 28.	Distribución de elementos minoritarios en aguas subterráneas y superficiales.....	76
Figura 29	Diagrama Piper de agua subterránea y superficial	77
Figura 30.	Distribución del As en sedimentos de quebrada, aguas subterráneas y superficiales	79
Figura 31.	Diagrama de Pourbaix del Arsénico en agua.....	81
Figura 32.	Comparación de ECA Vs Resultados de análisis de Laboratorio	83
Figura 33.	Comparación de LMP del MINSA Vs Resultados de análisis de laboratorio.....	84
Figura 34.	Sección geológica.....	86
Figura 35.	Correlación As y pH.....	88
Figura 36.	Correlación As/Al y Mn	89



ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1.	Estándares de Calidad Ambiental para Agua-Categoría 1 (D. S. N° 004-2017).	35
Tabla 2.	LMP de parámetros químicos inorgánicos (MINSA, D.S. N° 031-2010- SA)	36
Tabla 3.	Detalle de acceso al área de investigación	43
Tabla 4.	Población en el área de investigación	44
Tabla 5.	Inventariado de fuentes por Temporadas	48
Tabla 6.	Parámetros Físicos medidos en campo	49
Tabla 7.	Resultado de análisis químico de suelos	59
Tabla 8.	Niveles estáticos en el área de investigación	60
Tabla 9.	Puntos de muestreo y ubicación	65
Tabla 10.	Parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas y superficiales	66
Tabla 11.	Elementos mayoritarios entre Cationes y Aniones	70



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Etapas de investigación	40
Cuadro 2. Perfil litológico SR-01	54
Cuadro 3. Perfil litológico SR-02	55
Cuadro 4. Perfil litológico SR-03	57
Cuadro 5. Parámetros que superan los LMP evaluados.....	75
Cuadro 6. Facies hidroquímicas del área de estudio.....	77



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ECA	Estándares de Calidad Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú
ANA	Autoridad Nacional del Agua
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
MINAGRI	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú
UTM	Universal Transverse Mercator
GPS	Global Positioning System
ICP	Plasma de acoplamiento inductivo
OES	Espectrofotómetro de emisión óptico
EBI	Error Balance Iónico
TDS	Sólidos Totales Disueltos
HACRE	Hydroarcanicismo crónico regional endémico
IRHS	Inventario de Recursos Hídricos Subterráneos
PP	Pozo
L-COS	Laguna Coatasi
R-COA	Rio Coata
R-COS	Rio Coatasi
CE	Conductividad eléctrica



LMP	Límites Máximos Permisibles
OD	Oxígeno Disuelto
OH	Hidróxido
IS	Índice de saturación
pH	Potencial de Hidrógeno
Cu	Cobre
Zn	Zinc
Se	Selenio
Mn	Manganeso
Fe	Hierro
As	Arsénico
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
Cd	Cadmio
Li	Litio
Ba	Bario
As⁺⁵	Arsénico pentavalente
Lg	Lemna gibba



Km	Kilómetro
Hrs	Horas
°C	Grados centígrados
m	Metro
mg	Miligramos
L	Litro
meq	Miliequivalente
ms	Milisiemens
ppm	Partes por millón
μS	MicroSiemens
%	Porcentaje
Kis-ay	Formación Ayavacas
P-mu	Formación Muñani
P-pu	Grupo Puno
Qh-al	Depósitos Aluvial
SP	Arena mal graduada
SW	Arena bien graduada
SM	Arena Limosa
CH	Arcilla inorgánica



RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de evaluar la calidad de las aguas subterráneas presentes en los depósitos aluviales de las planicies de Coatasi, Putucune, Cojelaque y Pojsin de la comunidad de Carata, distrito de Coata en el 2022. La presencia de elementos tóxicos como el arsénico en el organismo humano se atribuye a la ingesta permanente de aguas subterráneas, siendo la única fuente de consumo en la comunidad de Carata. Se evaluó las características hidrogeológicas locales, la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas con énfasis en la evaluación y obtención de información de la procedencia del arsénico. Los estudios se realizaron con base a análisis fisicoquímico de 5 muestras de aguas de pozo, el muestreo se distribuye en una superficie de 6.1 Km². Según su ubicación geográfica, la hidrogeología local se caracteriza por la ocurrencia de sedimentos lacustres, conformado por una secuencia de arenas limosas y arcillas arenosas en las cuales se encuentra las aguas subterráneas. La calidad de las aguas subterráneas son de tipo Cloruradas cálcicas a clorurada sódicas, de salinidad alta, la conductividad eléctrica alcanza valores de 6231 μ S/cm, sólidos totales disueltos 3113 mg/L, oxígeno disuelto 4.51 mg/L, dureza 2914.6 mg/L, altas concentraciones de arsénico 1.49 mg/L, manganeso 13.8 mg/L, selenio 0.49 mg/L, cadmio 0.03 mg/L, plomo 0.063 mg/L y pH 8; concluyendo que las aguas subterráneas son de mala calidad no aptas para el consumo, la evaluación de calidad se realizó con referencia al D.S. N°031-2010 del MINSA. Los resultados muestran el impacto a la calidad de vida y la información constituye un aporte para generar proyectos de servicio de agua potable, tratada en calidad y cantidad para la zona baja del río Coata.

Palabras Clave: Arsénico, Coata, Hidrogeología, Hidroquímica, Metales pesados.



ABSTRACT

The research was carried out with the objective of evaluating the quality of the groundwater present in the alluvial deposits of the Coatasi, Putucune, Cojelaque and Pojsin plains of the Carata community, Coata district in 2022. The presence of toxic elements such as arsenic in the human organism is attributed to the permanent intake of groundwater, being the only source of consumption in the community of Carata. The local hydrogeological characteristics were evaluated, as well as the physicochemical quality of groundwater with emphasis on the evaluation and obtaining of information on the origin of arsenic. The studies were carried out based on the physicochemical analysis of 5 well water samples, the sampling is distributed over an area of 6.1 km². According to its geographical location, the local hydrogeology is characterized by the occurrence of lacustrine sediments, made up of a sequence of silty sands and sandy clays in which groundwater is found. The quality of groundwater is of the calcium chloride to sodium chloride type, with high salinity, electrical conductivity reaches values of 6231 $\mu\text{S}/\text{cm}$, total dissolved solids 3113 mg/L, dissolved oxygen 4.51 mg/L, hardness 2914.6 mg/L, high concentrations of arsenic 1.49 mg/L, manganese 13.8 mg/L, selenium 0.49 mg/L, cadmium 0.03 mg/L, lead 0.063 mg/L and pH 8; concluding that the groundwater is of poor quality and not suitable for consumption, the quality evaluation was carried out with reference to the D.S. No. 031-2010 of the MINSA. The results show the impact on the quality of life and the information constitutes a contribution to generate potable water service projects, treated in quality and quantity for the lower area of the Coata river.

Keywords: Arsenic, Coata, Hydrogeology, Hydrochemistry, Heavy metals.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La escasa disponibilidad de aguas superficiales en numerosas regiones dio lugar al uso de las aguas subterráneas, sin embargo, la presencia de diversos minerales y en diferentes estados es frecuente en las formaciones geológicas, que al entrar en contacto con el agua son disueltos incorporándose en la fase líquida con concentraciones variables. En aguas de consumo, ciertos elementos son peligrosos para la salud por su nivel de toxicidad como el arsénico, según literatura científica se conoce que la exposición al arsénico genera diversos tipos de enfermedades como el cáncer de piel, pulmonar, vejiga, próstata y otras patologías como la diabetes, anemia y afecciones en los procesos reproductivos y de desarrollo (Lillo, 2008).

A nivel mundial se conoce que más de 20 países reportaron presencia de arsénico en aguas de consumo como Argentina, Canadá, Chile, España, India, México, Nueva Zelanda, Polonia, Taiwán, USA, etc., (Smedley y Kinniburgh, 2002). Asimismo, en diferentes localidades del Perú la presencia del arsénico en aguas subterráneas es frecuente, reportado por diferentes estudios como en la localidad de Morrope región Lambayeque (INGEMMET, 2018), Végueta-Huaura región Lima (Márquez y Jeanpeare, 2022), en aguas de consumo humano de la región de Arequipa (Díaz et al., 2017) y en Puno en las localidades de Desaguadero y Huata (Apaza y Calcina, 2014), en la ciudad de Juliaca (Huaracha y Quispe, 2020), y en la actualidad en el distrito de Coata.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Identificación del Problema

En el distrito de Coata entre los días 20, 21 y 22 de enero del 2021, la Dirección Regional de Salud Puno realizó análisis de sangre y orina a los pobladores de la zona de Coata, cuyos resultados determinaron que de 109 pobladores de la zona de Coata, en 91 se les detectaron presencia de Arsénico por encima del máximo permitido según Diario la Republica, 26/04/2021. Asimismo, se reportó “Presencia de arsénico en agua y leche de la zona baja del río Coata” (Chata, 2015). En aguas de consumo se identificaron presencia de Arsénico en concentraciones de 0.048 mg/L y el Plomo de 0.014 mg/L, que superan los límites máximos permitidos para aguas de consumo. De manera similar en el análisis de la leche, el Arsénico está presente en concentraciones de 0.043 mg/L y el Plomo 0.21 mg/L.

1.2.2 Valoración del Problema

La presencia de contaminantes en aguas de consumo, ya sean de origen natural, agrícola, industrial, es de suma importancia para la salud pública. La ingesta permanente de elementos tóxicos como el arsénico en aguas de consumo por los pobladores de la zona de estudio viene deteriorando la salud de las comunidades asentadas en el medio rural.

1.2.3 Formulación del Problema

¿Cuál es la calidad de las aguas de consumo que disponen los habitantes de la comunidad de Carata del distrito de Coata?,

¿Cuáles son los elementos tóxicos de riesgo para la salud que se encuentran en aguas de consumo de la comunidad Carata del distrito de Coata?



1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El recurso hídrico de aguas superficiales y subterráneas a nivel nacional está siendo afectado por diferentes actividades humanas y otras de origen natural, de esta manera agravando cada vez más su disponibilidad tanto en cantidad y calidad. La concentración de metales pesados en aguas de consumo humano como son el Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo en muchos lugares superan los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA-MINSA, en las diferentes provincias de la región de Arequipa según Delgado y Zavala (2021).

Desde el punto de vista de la patología el consumo continuo y prolongado de agua de pozos con alto contenido arsenical, produce manifestaciones dermatológicas y viscerales que se denomina HACRE (hidroarcanicismo crónico regional endémico). Se considera que cuando las aguas contienen más de 0.5 mg/L de arsénico disódico o más de 0.12 mg/L de arsénico metaloide, son capaces de determinar dicha intoxicación crónica según Bocanegra et al. (2002). Por otro lado, las manifestaciones del HACRE incluyen también lesiones cutáneas, mucosas y cánceres viscerales según Grisnpan (1985). Según Ghosh y Dutta (2019), aproximadamente 296 millones de personas en más de cien países alrededor del mundo residen en zonas con reportes de este metal arsénico. En América latina se estima que la población en riesgo de padecer enfermedades asociadas a la exposición prolongada con Arsénico excede los 14 millones en casos de México, Chile y Argentina, por otra parte, la población en riesgo potencial de exposición se encuentra en Perú afirma Alonso et al. (2014).

1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

La ingesta permanente de las aguas subterráneas de la comunidad de Carata del distrito de Coata, provoca un impacto negativo a la calidad de vida generando enfermedades en la población rural, debido a las concentraciones elevadas de sales, alta



dureza y presencia del arsénico que generan aguas de mala calidad no aptos para consumo.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de las aguas subterráneas presentes en los depósitos lacustres y aluviales que conforman las planicies de Coatasi, Putucune, Cojelaque y Pojsin de la comunidad de Carata del distrito de Coata.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones hidrogeológicas de las planicies de Coatasi, Putucune, Cojelaque y Pojsin de la comunidad de Carata del distrito de Coata.
- Determinar la calidad hidroquímica de las aguas subterráneas y superficiales de la zona de la comunidad de Carata del distrito de Coata.
- Identificar la causa de la presencia del arsénico en concentraciones elevadas en las aguas subterráneas de la comunidad de Carata del distrito de Coata.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- En la sub cuenca del río Arancal se observó que la dispersión de Cloro vs. Boro es de 1 meq/L Cl es igual a 34 meq/L B, de esta manera se confirmó una relación directa entre las aguas del Lago de Coatepeque y el Acuífero de Santa Ana y la existencia de un enlace subterráneo. La dispersión mecánica aporta una variación del 20-30% al valor del tiempo medio de residencia. Para sitios del río Suquiapa el promedio de calificación a partir del índice de calidad de agua canadiense (CCME-WQI) fue de 31.9 de calificación tipo “Mala”. Para los pozos de ANDA el valor promedio del índice fue de 98.97, teniendo un único pozo con valores fuera de norma, el pozo SA-09 con valores de nitratos de 81.87 ppm (Amaya, 2015).
- La determinación de la concentración de Fe (Fierro) y As (Arsénico) en aguas subterráneas del centro-oeste Chaqueño presentan que el As, cuya media es 5 veces mayor al límite establecido por la OMS para aguas de bebida (0,01 mg/L) y el valor medio de hierro fue de (0,44 mg/L). Indicando también que los niveles de As no varían con la profundidad de los pozos pero que si hay mayores concentraciones en niveles próximos a los 20 y 30 m. En cuanto al pH que se encuentra, el arsénico podría estar regulado por reacciones de equilibrio entre el As en disolución y el As fuertemente adsorbido esto hace suponer que habría procesos de adsorción-desorción sobre los óxidos y oxihidróxidos de hierro que abrirían paso a la solubilización o retención del arsénico (Blanes y Gimenez, 2006).



- Se afronta un fenómeno de una contaminación natural de arsénico propiamente dicha, del acuífero detrítico del terciario de Madrid, manifestando que la presencia del arsénico esté relacionada con el flujo de las aguas subterráneas ya que en zonas de recarga los valores de arsénico son inferiores a 10 mg/L y en zonas de descarga tiene valores de 91 mg/L. En los pozos de la zona de recarga con concentraciones elevadas de arsénico indicaría que existe una fase sólida que probablemente sea (minerales de la arcilla y/o oxihidróxidos de hierro y aluminio, sin descartar otras). La permanencia de estas aguas constituirá medios alcalinos o con tendencia alcalina, el flujo de estas aguas se clasificaría de intermedias o regionales ya que es un medio efectivo para el intercambio aniónico por lo que el arsénico entra a formar parte de la fase acuosa. Además, se plantea que el anión desplazante podría ser el grupo OH y que el arsénico se correlaciona efectivamente con el vanadio, flúor y boro (Hernández y Fernández, 2002).
- En este estudio se hallaron que las concentraciones altas en metales pesados han sido en muestras de aluminio y manganeso (03 muestras), selenio (13 muestras) y zinc (11 muestras). Y se afirma que la persistencia de los valores más elevados de dichos metales pesados, se concentran al margen izquierdo del río Ebro, ya que dicho margen soporta una mayor presión industrial. La relación de estos metales (Cu, Zn, Se, Mn) indicaría ser de origen industrial y la fuerte influencia de la infiltración de aguas superficiales cercanas (Padrino de la Mata *et al.*, 2001).

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- En el monitoreo de la calidad del agua superficial de la cuenca Coata en el año 2011 se identificaron 12 vertimientos de aguas residuales, 11 domésticos sin



contar con autorización, pero también se encontró en dicho monitoreo un vertimiento de agua residual tratada autorizada que corresponde a la unidad minera El Cofre de la empresa CIEMSA y 04 pasivos ambientales, en las aguas del río Coata el pH oscila entre (9.02 - 9.14) y con respecto a la presencia de metales pesados no presenta en estos parámetros. (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

- La evaluación geoquímica de las aguas subterráneas en el valle del río Piura, la litología tiene la mayor relevancia ya que la mineralogía caracteriza la calidad de agua, teniendo en cuenta que la formación Bocana pertenece a una facie clorurada sódica magnésica y que el flujo subterráneo al atravesar rocas volcánicas de composición andesítica, ricos en Ca y Mg, hace que la facie del flujo tienda a ser bicarbonatada cálcica magnésica, En la sección A-A', contiene la mayor concentración de Plomo y Cobre, esto se debe a la mineralización del tipo sulfuro masivo Pb-Cu-Zn en la Formación la Bocana y en la sección C-C' el flujo de agua subterránea atraviesa rocas detríticas de la Formación Yapatera, en la cual existe una disminución de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, a consecuencia de óxidos e hidróxidos de hierro y la posterior absorción de los metales Pb y Zn (Blas, 2016).

2.1.3 Antecedentes Locales

- En el estudio realizado en Carancas, las mayores concentraciones se encuentran en el arsénico (500 µg/L) y el hierro (> 0.3 mg/L), por otro lado, también muestran valores bajos de oxígeno disuelto (menores a 1 mg/L), de esta forma evidencian a un ambiente reductor del acuífero confinado. En cambio, en la zona de Huata se evaluaron 14 pozos en donde el arsénico se encuentra en un medio oxidante debido a la poca profundidad del nivel freático donde el OD



está en los valores entre 2 a 6.85 mg/L y las concentraciones de arsénico entre 10 ìg/L a 250 ìg/L en la forma de As+5. Respecto a otros parámetros como la conductividad eléctrica varía en el rango entre 800ìS/cm a extremadamente altos mayores a 4000 ìS/cm, la dureza también son altas llegando hasta 660 ppm, concluyendo la presencia de aguas subterráneas de mala calidad (Apaza y Calcina, 2014).

- Al evaluar la calidad físico química del agua subterránea con fines de consumo humano en la comunidad de Carata, se tomaron como muestra 8 pozos, los que presentaron el pH entre (7.03 a 8.03) siendo aguas neutras y alcalinas, la conductividad eléctrica (0.39 a 4.00 ms/cm), que representa aguas de alta mineralización y salinidad, la dureza del agua (209.88 a 1595.88 mg/l), éstas corresponden a características aguas muy duras. Concluyéndose ue el 50% de las muestras son de mala calidad incluyendo a los cloruros que superan los límites máximos permisibles, según el autor esto es debido a la formación hidrogeológica presente en la zona y por la contaminación biológica con coliformes fecales (bacterias), debido a la inadecuada ubicación de letrinas sanitarias y estiercol clasificandolo en aguas no aptos para consumo humano (Belizario, 2011).
- Se evaluó el Arsénico en aguas subterráneas de la subcuenca del río Callacame en sedimentos de taladro de perforación para dotar de agua en la comunidad de Quiñones-Mamani del distrito de Desaguadero dando resultados de 10 a 42,7 mg/kg de As y para el pozo Chuncarcollo de 10 a 14.7 mg/kg de arsénico, evaluándose las fuentes generadoras, la lixiviación en rocas volcánicas y sedimentos ha dado la movilidad y transporte a las aguas subterráneas. Concluyendo que las aguas subterráneas están dadas por un índice de



- saturación (IS); para minerales de gohetita y hematita que están supersaturados, para anhedrita, yeso, jarosita dan como subsaturados y menos saturados para hidróxidos de hierro. La supersaturación para especies de hierro indica que los sulfuros y sulfatos se han oxidado y el arsénico se ha liberado a las aguas subterráneas (Calcina, 2017).
- Al determinar la presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata, los resultados muestran al Hg < a 0.00020 mg/L, As a 0.048 mg/L y Cd <0.00050mg/L, los cuales no superan los estándares nacionales de calidad ambiental para agua en bebida de animales y riego de vegetales. En cuanto a los resultados de la Leche el As (0.43 mg/L), supera el Límite Máximo Permisible fijado por la norma técnica ecuatoriana, el Plomo (0.21mg/L) supera el LMP por Codex alimentarius y la Unión Europea (Chata, 2015).
 - Al evaluar la concentración de Cromo, Cadmio, Plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, resultando que la concentración mínima del Cadmio 0.00 mg/kg, del Cromo fue de 4.10 mg/kg y del Plomo 3.75 mg/kg; ubicando al Cromo por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo del Ministerio del Ambiente, de modo que se esperaría en el mediano y largo plazo encontrarse efectos a nivel de la biología y ecología de organismos asociados al río Coata (Quispe, 2017).
 - La concentración de arsénico (As) total en las aguas subterráneas en pozos tubulares en el distrito de Juliaca. Mamani afirma que el arsénico se encuentra en el 95 % de las muestras de agua con concentraciones superiores a los límites máximos establecidos por los organismos nacionales e internacionales de 0,01 mg/L, a este metal le acompaña el plomo lo que hace que el agua no sea apta



para el consumo. Mamani propone que la remoción de arsénico con carbón activado de *Lemna gibba* (Lg) lenteja de agua podría ser aplicado con eficacia para la adsorción de Ba, Ca, Li, Mn y P (Mamani, 2019).

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Hidrogeoquímica

La hidroquímica estudia el quimismo del agua en la zona saturada y no saturada dentro de las aguas subterráneas. La interacción del agua y el medio sólido por donde circula es cambiante, espacial y temporalmente. Los componentes del agua dependen de las características de los suelos y rocas por donde fluye, son influenciadas por la temperatura, los minerales, las afecciones antrópicas, y los mecanismos de recarga y descarga (Custodio, 1991), la hidroquímica es una disciplina fundamental para el conocimiento de los ambientes hidrogeológicos en función de la calidad de las aguas, ya que puede informar sobre los procesos naturales y/o las actividades antrópicas que influyen cualitativamente sobre un sistema hídrico. Dicho alcance le otorga un rol relevante en la comprensión de los problemas de calidad y contaminación del agua y también en la definición de algunas características hidrogeológicas (recarga, tiempos de residencia, sistemas de flujo, etc.).

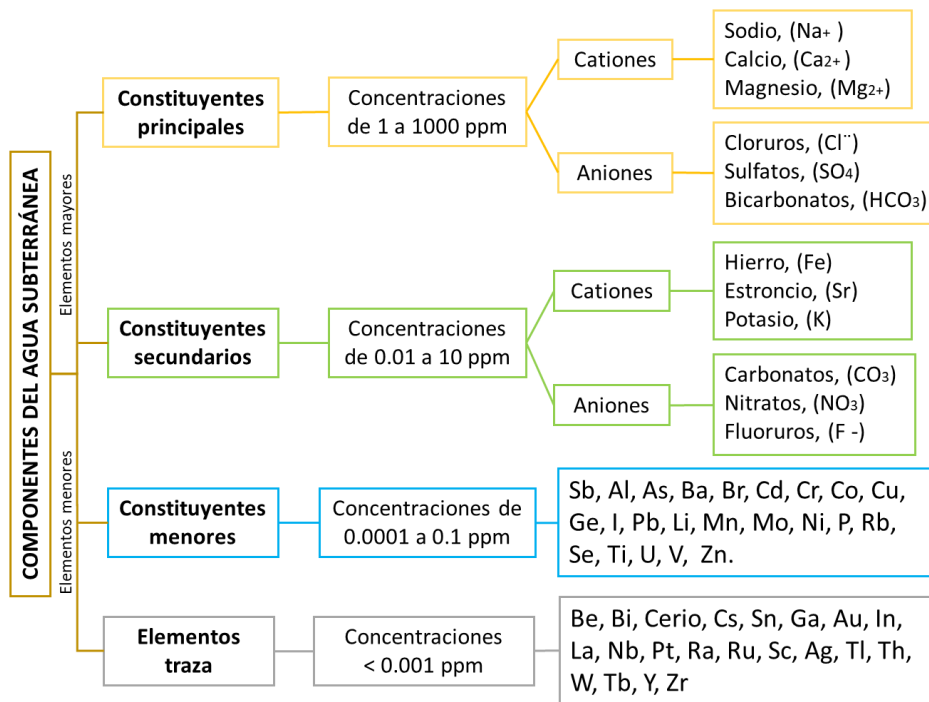
La evaluación hidrogeoquímica permite estudiar la composición del agua identificando y explicando su distribución espacial y variación temporal. Se apoya en una amplia gama de herramientas que se utilizan para este fin desde mapas geológicos, hidrogeológicos, muestreo, representaciones gráficas en diagramas y mapas, cálculo y valoración de relaciones iónicas, análisis de datos termodinámicos, modelos de balance de masas, etc.

2.2.2 Componentes del Agua Subterránea

Las composiciones químicas de aguas subterráneas se encuentran en forma iónica y su distribución se observa en la Figura 1.

Figura 1

Distribución de los componentes del agua subterránea (Martínez y Castaño, 2006).



2.2.3 Características Físico-Químicas del Agua

A) Temperatura

La temperatura es una medida que se realiza en campo, en aguas de origen subterránea se debe medir de inmediato antes que se altere con la temperatura del ambiente y normalmente la temperatura del subsuelo aumenta 3°C cada 100 metros de profundidad. Pero un sistema de flujo regional, en ocasiones puede detectarse una ligera anomalía térmica positiva en las áreas de descarga (Doménico y Schwartz, 1998).



B) Conductividad Eléctrica (CE)

Es la capacidad para conducir la corriente eléctrica, su medida se realiza en campo y laboratorio, la unidad de medida usual es el microSiemens/cm ($\mu S/cm$). La conductividad aumenta con la cantidad de iones disueltos lo que indicaría una aproximada salinidad del agua, debemos tener en cuenta que la conductividad varía con la temperatura. Este parámetro nos puede permitir establecer un muestreo inteligente, sabiendo con anticipación que tipo de agua se está muestreando.

C) Potencial de Hidrógeno (pH)

Se define como $-\log < H^+ >$. Este parámetro mide la acidez del agua como aquella especie capaz de liberar protones o captar hidróxidos (OH^-) y una base es aquella especie capaz de captar protones o ceder OH^- , lo que se realiza en campo con equipos portátiles u otros métodos; en aguas subterráneas habitualmente está entre 6.5 y 8.5, teniendo en cuenta que un pH 7 es neutro.

D) Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se mide como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación, en aguas subterráneas el oxígeno determinará el ambiente en la que se encuentran, estos pueden ser ambientes oxidantes y anóxicos, teniendo en cuenta también que el oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la temperatura.

E) Sólidos Totales Disueltos (TDS)



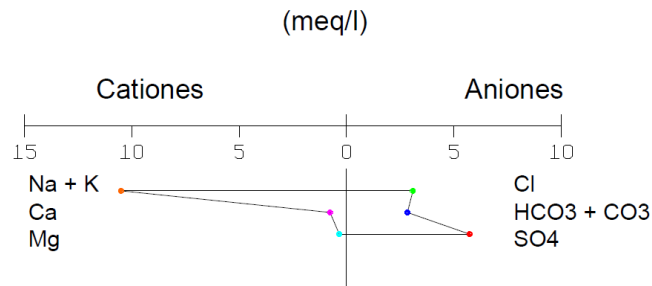
Se le denomina sólidos disueltos a un tamaño inferior a dos micras, la concentración de TDS es la suma de todas las sustancias filtrables presentes en el agua en forma de moléculas, átomos, cationes o aniones, metales u elementos traza disueltos en el agua. El TDS se utiliza para estudios de calidad de aguas superficiales y subterráneas.

2.2.4 Interpretación de Datos Hidroquímicos

Para el análisis e interpretación de datos hidroquímicos, se utilizan como uno de los métodos los diagramas hidroquímicos que permiten identificar iones dominantes en muestras de agua, facies hidroquímicas y relaciones entre iones. Existen diferentes tipos de diagramas como de Collins, Stiff y Piper, cada uno de estos diagramas tiene ventajas y desventajas de uso. El diagrama de Collins está conformado por dos barras contiguas una representa a los cationes y la otra a los aniones, además su altura define la concentración de la muestra, permitiendo también identificar al anión o catión dominante. Por otra parte, el Diagrama de Stiff modificado consiste en representar una muestra en un polígono que se construye por tres rectas de manera vertical y equidistante, con una escala previamente establecida en la que el tamaño del polígono representará el total de sólidos disueltos de la muestra y los vértices izquierda o derecha identificarán al catión y anión dominante, tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de Stiff modificado

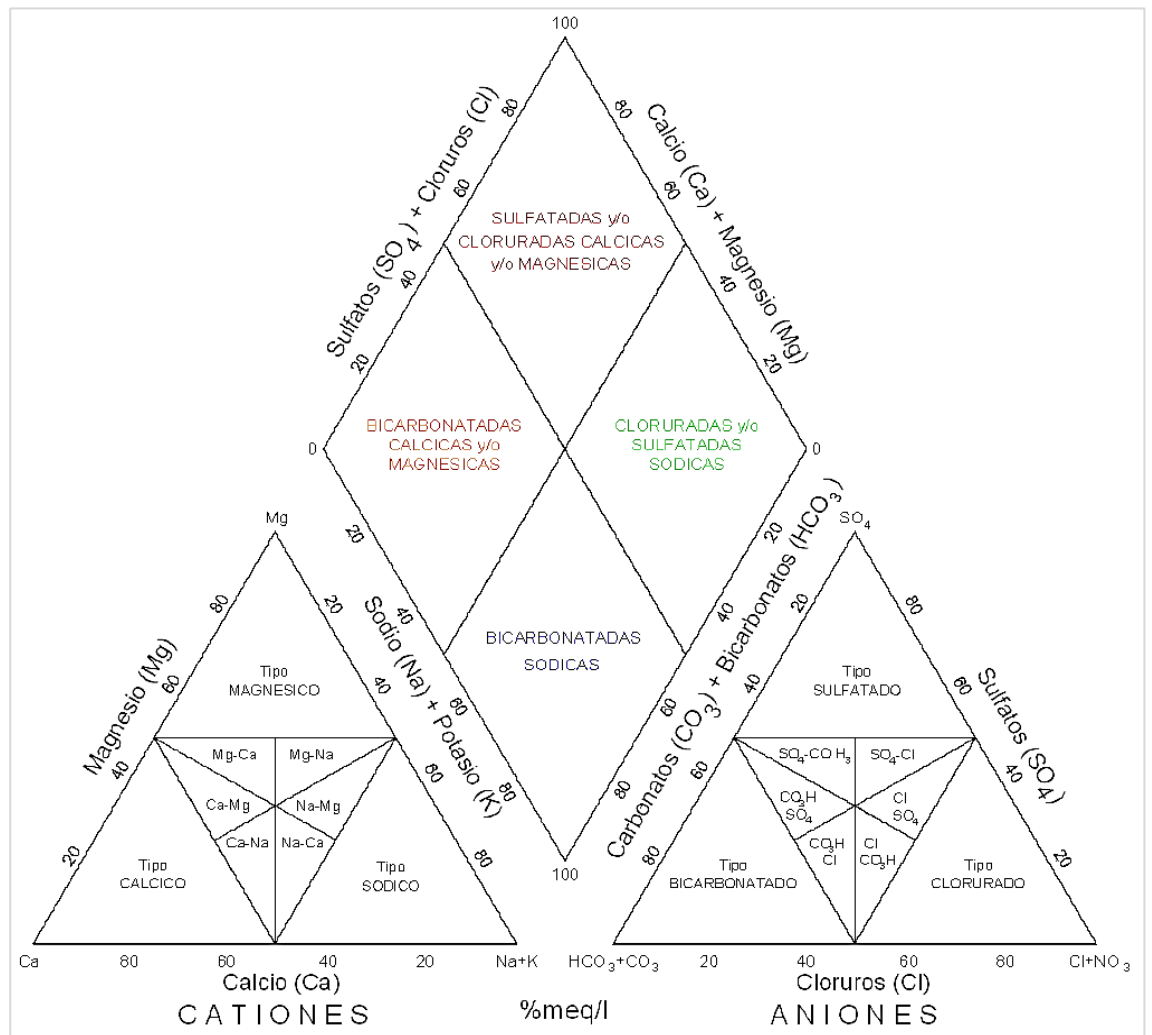


Fuente: Mariño y García (2018).

El diagrama de Piper-Hill-Langelier lo componen dos campos triangulares a la izquierda los cationes y la derecha los aniones dando origen a un rombo central que integra ambas composiciones, y estos llevan una escala en meq/L expresado en porcentajes de 0 a 100%, ubicando cada muestra en un punto en cada campo triangular y estos dos puntos juntos proyectan un punto en el rombo central, de esta manera en el rombo central de acuerdo a la ubicación se le realiza una clasificación de tipos de agua como se aprecia en la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de Piper



Nota: Campos de las tipologías de agua en base a Cationes y Aniones

mayoritarios, fuente Hill Langelier.

2.2.5 Mapas Hidroquímicos

Muestran las variaciones espaciales de la calidad de las aguas de una determinada zona. Existen diversas formas de representación de datos hidroquímicos desde los isovalores de parámetros químicos, relaciones con otras variables hidrogeológicas, las cuales sirven para interpretar condiciones de



calidad espacial, reconocer zonas de recarga, descarga, zonas de mezcla de agua y muchos otros atributos hidrogeológicos del medio.

2.2.6 Principales Procesos de Interacción Agua – Roca

- **Disolución / Precipitación**

Este proceso se da inicio cuando el agua entra en contacto con el conjunto de minerales que presenta la roca o el suelo que conforma el acuífero, hasta q se consuma totalmente la fase solida de tal forma que los iones disueltos alcancen una concentración de equilibrio, pero esta dependerá de la solubilidad que es distinta en cada mineral, es decir que una masa puede disolverse en un volumen unitario de solución en determinadas condiciones (Freeze y Cherry, 1979).

- **Sistema Carbonatado**

Se trata de la interacción del agua con minerales carbonaticos los que pueden ser la calcita, aragonito, dolomita y magnesita. Sabiendo que su reactividad química es muy alta, se asume que la presencia de estos minerales ya sea en rocas, sedimentos o suelos en proporciones al 1%, con los que el agua entra en contacto tienden a controlar la hidroquímica del sistema (Mariño y García, 2018).

- **Hidrólisis de Silicatos**

Es el proceso de la interacción entre los minerales del grupo de los silicatos y el agua, esta se ve favorecido por la incorporación de CO₂ en esta solución, aumentando así su capacidad de ataque químico asumiendo que esta es la fuente principal de acidez en el agua. Como productos secundarios de la hidrolisis, estas se presentan como patinas en las que se encuentran los óxidos e hidróxidos de



hierro y minerales arcillosos, como illita, esmectitas y caolinita (Mariño y García, 2018).

- **Intercambio Iónico**

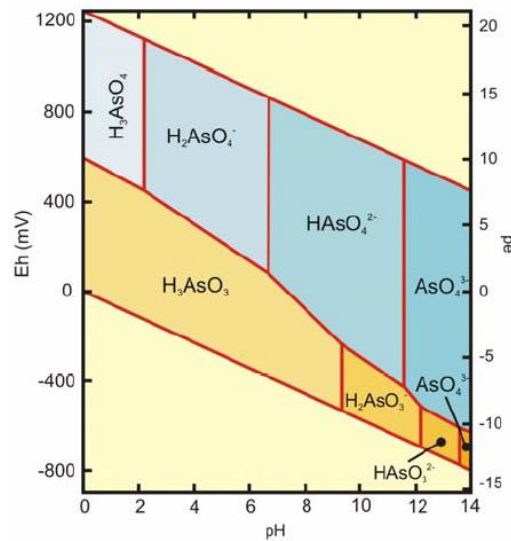
Se le atribuye a un proceso de sorción y consiste en la existencia de un reemplazo de cationes o aniones disueltos que luego son retenidos por la fase sólida (adsorción), intercambiándose por otros cationes o aniones que son liberados a la solución (desorción). Estos procesos son más frecuentes en sistemas Hidrogeoquímicos de intercambio catiónico y se desarrollan mejor cuando son de tamaño coloidal ya que la fineza de su granulometría hace más eficiente el proceso (Mariño y García, 2018).

- **Reacciones Redox**

Estas reacciones son de suma importancia ya que modifican la composición química del agua, consiste en una transferencia de electrones que consta de dos reacciones electroquímicas que son la oxidación y la reducción que se balancean recíprocamente. Para conocer la ocurrencia y movilidad de iones menores como hierro, compuestos del nitrógeno y elementos traza como el arsénico se emplean diagramas de estabilidad o diagramas Eh-pH que se emplean en la hidroquímica como ejemplo se observa en la Figura 4.

Figura 4

Diagrama Eh-pH de especies acuosas del As



Fuente: Mariño y García (2018).

2.2.7 Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA)

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) es el ente encargado de la conservación y del uso sostenible de este elemento imprescindible que es el agua, para ello realizan y aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias como establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) y la categorización de los mismos. Así se aprueba el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, donde se menciona en el Artículo 3, categorías de los estándares de calidad ambiental para agua, en la categoría “I” (Poblacional y recreacional), subcategoría “A” hace referencia a aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, entendiéndose que estas aguas tendrán un previo tratamiento para ser agua de consumo humano. De modo que el estado peruano no cuenta con un ECA que esté dirigido a las aguas subterráneas por lo que se toma los mismos estándares de aguas superficiales.

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental para Agua-Categoría 1 (D. S. N° 004-2017).

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

2.2.8 Calidad del Agua del MINSA

En el año 2011 la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud aprobó el reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano mediante el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, donde se establece los Límites Máximos Permisibles de parámetros químicos inorgánicos, donde estos son los valores máximos admisibles permitidos y representativos de la calidad de agua que se encuentra en el anexo tres de dicho reglamento, la que también se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

LMP de parámetros químicos inorgánicos (MINSA, D.S. N° 031-2010- SA).

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. Niquel	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



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Los trabajos de exploración y levantamiento de información de campo se realizaron en una extensión de 6.1 km² que abarca los sectores de Coatasi, Putucune, Pojsin y Cojelaque. Según las actividades ejecutadas, se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

3.1.1 Levantamiento Hidrogeológico

Se elaboró una base topográfica de la zona de estudio a escala 1: 15 000 para mapeo geológico, hidrogeológico inventario de fuentes de agua y ubicación de puntos de monitoreo, para su ubicación se utilizó instrumentos de posición satelital GPS, instrumento de medida en-situ multiparámetro, sonda de nivel de agua y de profundidad, se utilizó materiales adicionales como libreta de campo, flexómetro, jarras, baldes, pizarra, driza y otros.

3.1.2 Perforación Exploratorio

Se realizó tres perforaciones en los sectores Coatasi, Putucune y Cojelaque con fines de reconocimiento litológico de 10 metros de profundidad utilizando equipo de perforación manual de tres pulgadas de diámetro la misma que tuvo los siguientes equipos y materiales; motobomba, mangueras, recipientes, barras de perforación, bolsas de muestreo, movilidad y personal para dicha actividad. Todo lo mencionado se registró en libreta de campo, pizarra y cámara fotográfica.

3.1.3 Muestreo de Agua

Se tomó muestras de cinco pozos y una muestra del río Coata, para la extracción de agua de pozo se utilizó bomba sumergible (Tecnopower,100J3-



3879), para la medida de parámetros básicos in-situ se utilizó Multiparámetro (HI 9829 Hanna), para la toma de muestras de agua se utilizaron envases estériles, jarras, balde graduado, agua desionizada, paños de limpieza, guantes de nitrilo y para la conservación de la muestra se utilizó; gel refrigerante, couler, bolsas de muestreo, cinta de embalaje y para registrar el trabajo se utilizó; etiquetas de codificación, libreta de campo, pizarra y cámara fotográfica. Las muestras fueron enviadas al Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano con registro de cadena custodio (ver Anexo C; C-2) para análisis de Metales Totales, Metales disueltos, aniones y cationes mayoritarios.

3.1.4 Análisis en Laboratorio

Para la determinación de los análisis solicitados en coordinación con el Mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano se utilizó el equipo ICP-OES (VARIAN, CCD Simultaneous) para determinar metales totales y metales disueltos. Para la determinación de aniones y cationes mayoritarios se desarrolló por el método volumétrico. Por otro lado, se analizó una muestra de suelo con el equipo Microscopio Electrónico de Barrido (EVO LS10).

Figura 5

Materiales y Equipos



3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Consideraciones Conceptuales

El método empleado es desde un enfoque cualitativo y cuantitativo (mixto) de tipo exploratorio secuencial, de modalidad derivativa (Sampieri et al., 2014). El cual se enfoca en evaluar la calidad del recurso hídrico presente en el área de investigación, según los Estándares de Calidad Ambiental para agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) categoría 1, A-2 que indica “Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional” y el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, donde se establece los Límites Máximos Permisibles de la calidad del agua para consumo humano. Acatando el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA), y el Guía de



Inventarios de Fuentes de Agua Subterránea - abril 2020 (R.J. N° 007-2015- ANA, D.S. N° 018-2017-MINAGRI). La selección de la muestra es de tipo no probabilísticos o dirigida considerando los siguientes criterios:

- 1) Distribución espacial de las zonas afectadas y vulnerables como sectores de mayor número de habitantes, zonas ganaderas y de cultivo.
- 2) Zonas de monitoreo críticas donde las condiciones fisicoquímicas del agua sean anómalas.

Para ello se ha desarrollado las siguientes etapas de investigación ver Cuadro 1.

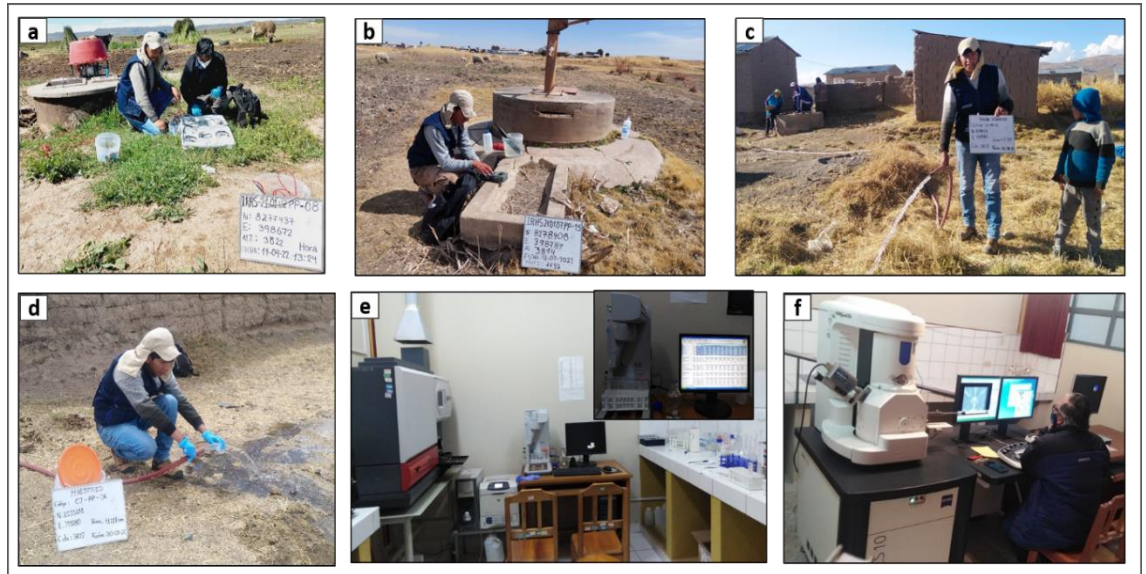
Cuadro 1.

Etapas de investigación

ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	
PRE-CAMPO	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de información científica, tesis, artículos, libros y datos preexistentes del área de investigación y alrededores. • Definición del área de estudio y elaboración de mapas pre- campo. • Determinación de la codificación para el inventariado y programación de las salidas de campo.
CAMPO	<ul style="list-style-type: none"> • Recojo de datos geológicos y geomorfológicos. • Inventariado de fuentes de agua superficial y subterráneo en temporadas de avenida y estiaje. • Ejecución de los sondeos de reconocimiento estratigráfico. • Muestreo de Aguas de origen subterráneo y superficial.
ANÁLISIS DE LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> • Preservación de las muestras para el análisis respectivo. • Análisis ICP-OES por metales totales y metales disueltos. • Análisis químico para Aniones, Carbonatos y Bicarbonatos. • Análisis de suelo en microscopio electrónico de barrido.
GABINETE	<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento de datos obtenidos en campo (mapas). • Interpretación de resultados de laboratorio. • Redacción del trabajo de investigación (tesis).

Figura 6

Trabajos en campo y Laboratorio



Nota. a) Inventariado en época de avenidas. b) Inventariado en época de estiaje. c) y d) Muestreo de aguas. e) Análisis ICP-OES por metales totales y disueltos. f) Análisis en microscopio electrónico de Barrido.

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN

La zona de interés de estudio se ubica en las planicies de las cuencas Coata y Unidad Hidrográfica 0175, que se encuentran en la comunidad de Carata en los Sectores Pojsin, Cojelaque, Putucune y Coatasi del distrito de Coata, provincia de Puno, departamento de Puno. Se encuentra a una altitud de 3816 a 3820 m.s.n.m., abarcando un área de 6.1 km², que está definida por las coordenadas UTM WGS 48, Este: 398974; 400770, Norte: 8278883; 8274110. (Ver Plano N° 1, Anexo G).

Figura 7

Plano de Ubicación



4.2 ACCESO

El acceso al área de investigación se realiza desde la ciudad de Puno con dirección noreste, se puede acceder mediante automóvil u otros.



Tabla 3

Detalle de acceso al área de investigación

Desde	Hasta	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs.)	Tipo de vía	Estado
Puno	Desvió Capachica	23.8	00:30	Vía asfaltada	Bueno
Desvió Capachica	Huata	12	00:15	Vía asfaltada	Bueno
Huata	Coata	6	00:08	Vía asfaltada	Regular

4.3 POBLACIÓN

En el área de estudio la población está distribuida de la siguiente manera:

Tabla 4

Población en el área de investigación

Distrito	Comunidad	Sector	Población Censada
Coata	Carata	Coatasi	35
		Putucune	298
		Cojelaque	63
		Pojsin	141
Total			537

Nota. Extraído del último censo del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, limitado con el área de investigación y clasificado según los sectores.

4.4 CLIMA Y FAUNA

El clima en el lugar de investigación varía según las estaciones del año, desde templado a frío, la temperatura varía de -6 °C a 20 °C, la humedad no varía considerablemente de 0 % y se observan vientos con direcciones que predominan del Este a Oeste. En cuanto a las precipitaciones, las temporadas de mayor precipitación son de diciembre a marzo y temporada seca desde abril a noviembre según datos SENAMHI, lo que se tomó en consideración para realizar el inventariado de fuentes y muestreo de las aguas subterráneas y superficiales del ámbito de estudio.

La fauna presente que se observa en el área de investigación es de dos tipos; silvestres (aves como flamencos, patos, carpintero terrestre, etc.) y domésticos (vacas, cerdos, ovejas, etc.), ya que es importante resaltar estos seres vivos que serán afectados directa o indirectamente por la mala calidad de las aguas presentes.

4.5 GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio forma parte de la Depresión Central del lago Titicaca y de origen tectónico según, Laubacher (1978) y rellenado con depósitos lacustres, fluvio-lacustres y depósitos recientes, que ha desarrollado extensas planicies, terrazas en diferentes niveles que se encuentran ampliamente distribuidos en la cuenca de Titicaca; localmente estos depósitos se encuentran presentes en la parte baja de la cuenca de Coata y la sub cuenca de Ilpa.

La geomorfología local en el área de investigación está ocupada por planicies conformadas por depósitos lacustres y fluvio-lacustres. Debido a su relieve plano que se encuentra en las márgenes del lago Titicaca, son áreas inundables producidas por desborde del río Coata.

4.6 GEOLOGÍA REGIONAL

Las condiciones de la hidrogeología de la zona de estudio están supeditada a la estratigrafía regional que forma las condiciones de borde de la zona de estudio, las unidades estratigráficas que se encuentran próximas a la zona de interés de estudio y que constituyen los límites de contorno hidrogeológico regional son los siguientes:

4.6.1 Formación Ayavacas (Kis-ay)

La presencia de esta formación rocosa es muy resaltante en el altiplano puneño y de gran interés de estudio, su presencia en la cuenca Coata se deriva debido a movimientos tectónicos en el Cretácico con orientaciones de noroeste-sureste, y está compuesto de Calizas micríticas laminares y calizas bioturbadas con nódulos y lentes de chert intercaladas, también se presenta en bloques, con estratificación regular, escasamente fosilífera con huecos rellenos de caliza arcillosa y limoarcillitas de coloración marrón rojizas (Newell, 1949).



4.6.2 Formación Muñani (P-mu)

La poca presencia de la formación Muñani en la cuenca Coata se ubica al suroeste del área de investigación, compuesto de Areniscas arcósicas, lodolitas y limoarcillitas rojizas en estratos de grano grueso a fino con presencia de estratificaciones cruzadas de canal, el cemento lo conforma el cuarzo con un desarrollo irregular (Newell, 1949) y (Palacios et al.,1993).

4.6.3 Grupo Puno (P-pu)

Los afloramientos del grupo puno se ubican al norte del área de investigación siendo parte de la cuenca Coata, sobreyaciendo discordantemente a la Formación Calizas Ayavacas y otras unidades más antiguas, conformándose de conglomerados con intercalación de areniscas y limolitas, en la variedad de clastos subredondeados a subangulosos que lo conforman están las calizas grises, cuarcitas y areniscas rojas, limolitas, venas de cuarzo, dioritas, microdioritas, cherts, jaspes y una selección de volcánicos andesíticos basálticos en matriz arenosa. Las areniscas contienen feldespatos con arcillas, sericita y óxidos de hierro (Palacios et al., 1993).

4.6.4 Depósitos Aluvial (Qh-al)

A lo largo de las planicies en la cuenca Coata se caracteriza por componerse de Gravas subredondeadas a subangulosas mal clasificadas, arenas en matriz limosa que se encuentran cercanos al río Coata, limos arenosos y arcillas inorgánicas.



4.7 GEOLOGÍA LOCAL

4.7.1 Depósitos Aluviales (Qh-al 1)

En el Plano geológico local N°4; Anexo G, se muestra la ocurrencia de las distintas formaciones en la zona de estudio. Estos depósitos del Cuaternario se encuentran en los sectores Putucune, Cojelaque y Pojsin ocupan el 70% del área de investigación, hacia el sur en el sector Pojsin se presentan afloramientos de arcillas de color pardo a pardo rojizo, intercalándose con arenas arcillosas y arcillas Inorgánicas de alta plasticidad de color negro. En el sector de Putucune se observó depósitos de arenas limosas de grano fino, arenas mal graduadas y bien graduadas, de color pardo.

4.7.2 Depósitos Aluviales (Qh-al 2)

Estos depósitos afloran en el sector de Coatasi muy cercano al río Coata, compuesto por limos inorgánicos de baja plasticidad de color marrón, de arenas limosas con intercalaciones de arenas de tamaño medio a fino, y arenas bien graduadas que se encuentran en una sucesión de tamaño grueso, medio y fino.

4.8 HIDROGEOLOGÍA DE LA COMUNIDAD DE CARATA

4.8.1 Mapeo Hidrogeológico

A) Inventario de fuentes subterráneas y superficiales

Los trabajos de levantamiento de información de campo se realizaron en dos temporadas época de avenidas (abril 2022). En la zona se registraron 13 fuentes de agua subterráneas y 3 de fuentes de agua superficial (ver Plano N°5; Anexo G). En la segunda temporada de trabajos de exploración se realizó en época de (julio 2022) se registró 13 fuentes de agua subterránea y 2 de fuentes de agua superficial (ver Plano N°6; Anexo

G). El inventario de fuentes se realizó de acuerdo a la guía para realizar el inventario de fuentes de agua subterránea, 2020 de la Autoridad Nacional del Agua, donde se recaudó información de los parámetros fisicoquímicos y medidas del nivel de agua y profundidad.

Tabla 5

Inventariado de fuentes por Temporadas

Tipo de fuente	Avenidas (abril 2022)	Estiaje (julio 2022)
Pozo	13	13
Rio	2	1
Laguna	1	1
Total	16	15

Figura 8

Inventario de fuentes de agua subterránea



Durante la época de avenida y estiaje se realizó monitoreo de la calidad fisicoquímica de las aguas utilizando equipo de medición multiparámetro WTW (Multi 3630 IDS) y multiparámetro HANNA. Los parámetros medidos se observan en la Tabla N°6 y Anexo A.

Tabla 6

Parámetros Físicos medidos en campo

Código IRHS 21.01.07-	Coordenadas UTM (WGS 84)			Fuente de Agua	Temporada de Avenidas			Temporada de Estiaje		
	Este	Norte	Cota		T (°C)	pH	CE (μS/cm)	T (°C)	pH	CE (μS/cm)
PP-04	400522	8274382	3820	Subterráneo	15.10	7.73	2190	12.02	7.91	2254
PP-05	400049	8274794	3820	Subterráneo	13.50	8.65	1962	10.34	8.45	4330
PP-06	399280	8275332	3822	Subterráneo	15.90	7.11	4400	12.44	7.01	3699
PP-07	399691	8276023	3817	Subterráneo	13.50	7.35	730	10.32	7.33	797
PP-08	398672	8277437	3815	Subterráneo	13.80	7.31	5930	10.00	7.14	5263
PP-09	398468	8277341	3816	Subterráneo	14.30	7.71	1384	11.18	7.93	1409
PP-10	398750	8276879	3821	Subterráneo	13.06	7.53	1930	10.34	7.21	2272
PP-11	398773	8276706	3825	Subterráneo	15.04	7.24	3270	10.44	7.31	2538
PP-12	399126	8276627	3824	Subterráneo	13.40	7.26	2400	12.05	7.16	2313
PP-13	399180	8276226	3818	Subterráneo	10.52	7.39	3880	12.59	6.99	3973
PP-14	399039	8276722	3817	Subterráneo	14.04	8.06	1889	12.07	7.39	3396
PP-15	398783	8278411	3814	Subterráneo	14.03	7.91	492	11.17	7.75	1280
PP-16	398986	8278436	3810	Subterráneo	12.90	7.95	4050	10.82	7.71	6282
Min:					10.52	7.11	492	10.00	6.99	797
Max:					15.90	8.65	5930	12.59	8.45	6282
Promedio:					13.78	7.63	2654	11.21	7.48	3062
R-COS-01	398793	8277474	3809	Superficial	19.10	9.26	481	-	-	-
L-COS-01	398751	8277557	3811	Superficial	19.90	9.78	235	13.36	9.89	290
R-COA-01	399036	8278668	3819	Superficial	15.60	8.00	415	11.72	7.96	1213
Min:					15.60	8.00	235	11.72	7.96	290
Max:					19.90	9.78	481	13.36	9.89	1213
Promedio:					18.20	9.02	377	12.54	8.93	752

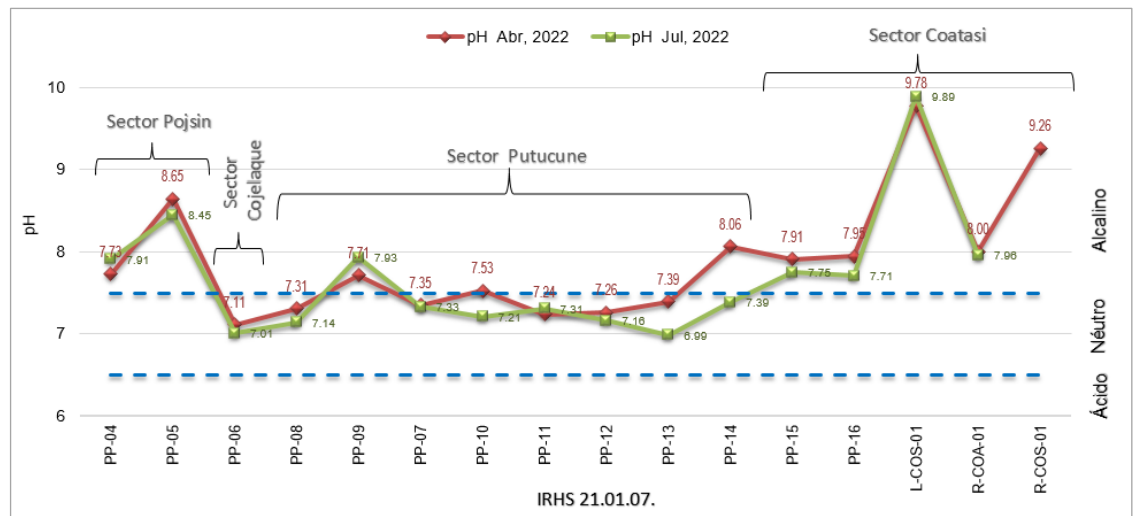
- La temperatura del agua de pozo en temporadas de avenida tiene valores que fluctúa entre 10.5 a 15.9 °C y en temporadas de estiaje de 10 a 12.6 °C, en cuanto a fuentes superficiales en temporadas de avenida los valores son de 15.6 a 19.9 °C y en temporadas de estiaje son de promedio 12.5 °C.
- El pH en aguas de pozo, en temporadas de avenida tiene un valor promedio de 7.6 y en temporada de estiaje 7.5, cuyos valores son característicos de aguas neutras, excepto en los pozos de código IRHS 21.01.07. PP-05 y IRHS 21.01.07. PP-14 que tiene valores de pH > 8, característico de aguas alcalinas. Por otro lado, en aguas de fuentes superficiales el valor



promedio en temporada de avenidas es de 9.02 y en temporada de estiaje 8.93, siendo así aguas alcalinas que se observan en la Figura 9.

Figura 9

Distribución del pH en dos temporadas de aguas subterráneas y superficiales

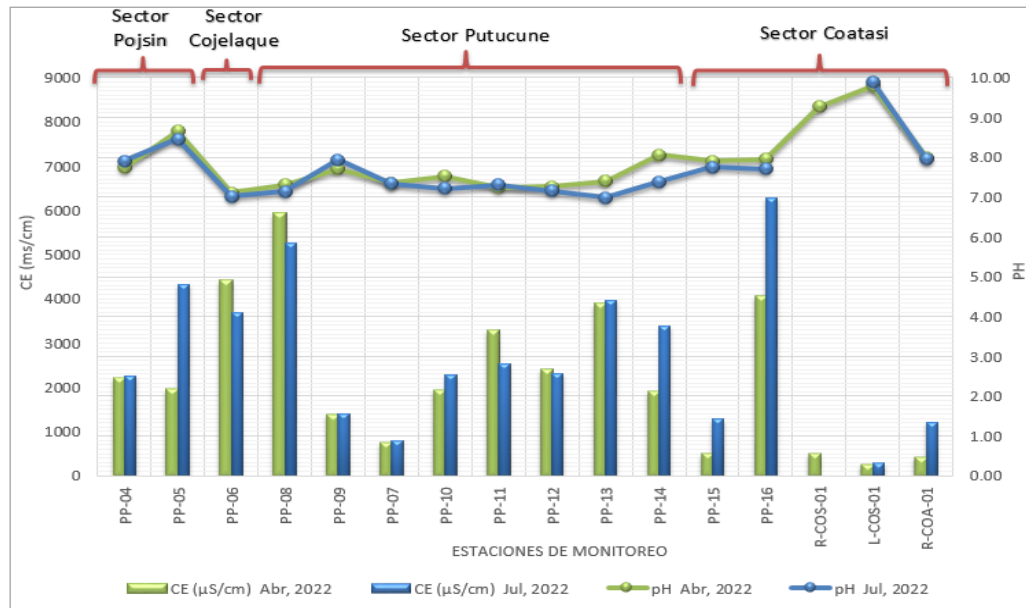


Nota. En el grafico se observa la variabilidad del pH en pozos cuyos códigos inician IRHS 21.01.07. PP-Nº continuado de una numeración sucesiva, acorde a los lineamientos de la Autoridad Nacional del Agua (2020).

- La Conductividad Eléctrica en fuentes de agua subterráneo en temporadas de avenida presenta un valor promedio de 2654 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en temporadas de estiaje el valor promedio es de 3062 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos valores elevados indican la concentración de iones disueltos en el ámbito de estudio. Así pues, en las fuentes de aguas superficiales en temporada de avenidas presenta un valor promedio de 377 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en temporadas de estiaje el valor máximo se identificó en el rio Coata de código R-COA-01, que presenta un valor de 1213 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cuya caracterización grafica se observa en la Figura 10.

Figura 10

Distribución de CE en dos temporadas de aguas subterráneas y superficiales

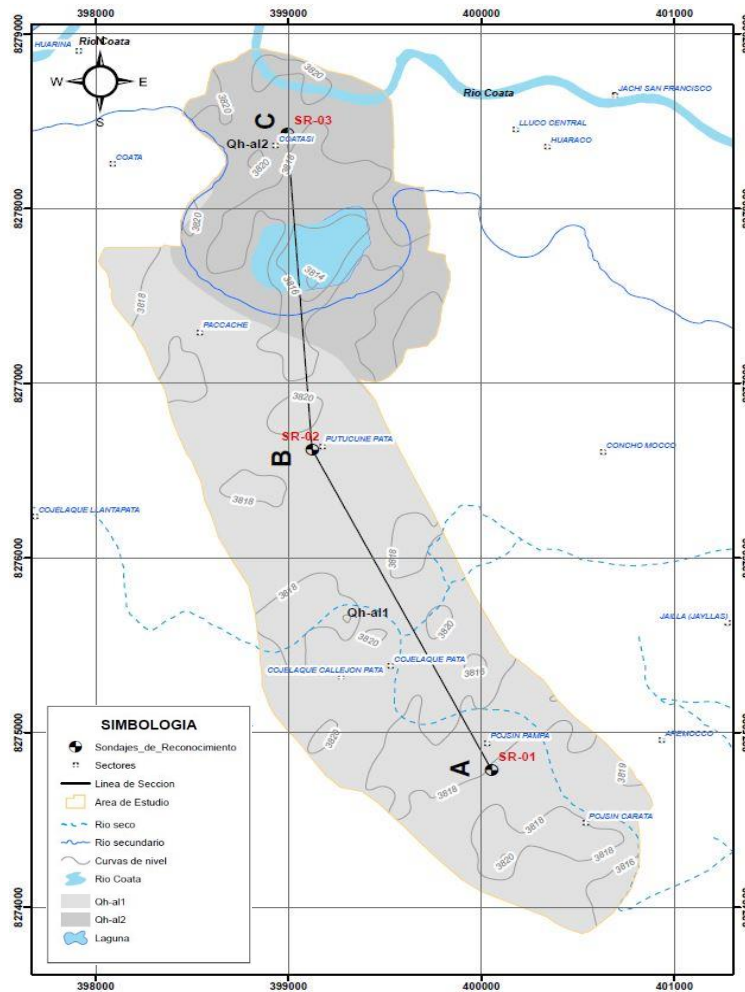


4.8.2 Sondajes de Reconocimiento

Se realizaron tres perforaciones con fines de reconocimiento litológico cuya ubicación espacial se observa en la Figura 11.

Figura 11

Ubicación de los Sondajes de Reconocimiento



Nota. Se observa la ubicación espacial de los sondajes de reconocimiento realizados en el área de investigación y las líneas de sección graficadas.

a) Sondaje de Reconocimiento SR-01

El sondaje SR-01 fue desarrollado en el Sector de Pojsin con una perforadora manual de tipo rotatoria, durante la perforación se realizó muestreo de los diferentes estratos identificados, estableciéndose el siguiente perfil:

Cuadro 2

Perfil litológico SR-01

Sondaje: SR-01		Coordenadas UTM		E: 400052
Ubicación: Pojsin				N: 8274787
Diámetro de perforación: 3 pulg.				Altitud: 3818 msnm
Prof. (m)	Espesor (m)	Descripción Litológica	Simbología	Nivel del Agua (m)
0.00				
0.40	0.40	Material orgánico (O), de color pardo a negro.		N.F. 2.50
2.50	2.10	Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL), de color pardo rojizo.		
3.60	1.10	Arena arcillosa (SC), de color pardo claro, compuesto de arenas de grano fino a medio.		
7.00	3.40	Arcilla Inorgánica de alta plasticidad (CH), de color negro se notó también una capa de 10 cm de arena de grano fino.		

Figura 12

Perforación en el sondaje de reconocimiento SR-01



b) Sondaje de Reconocimiento SR-02

El sondaje de reconocimiento SR-02 se desarrolló en el Sector de Putucune, con una perforadora manual de tipo rotatoria, durante la perforación se realizó el muestreo de los estratos presentes para su identificación, por otro lado se identificó una correlación litológica con el sondaje SR-01, el estrato en común se identifica como una Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) de color negro, que se observa en el perfil del Cuadro 3.

Cuadro 3

Perfil litológico SR-02

Sondaje:		SR-02	Coordenadas UTM		E: 399122	
Ubicación:		Putucune			N: 8276621	
Diámetro de perforación:		3 pulg.			Altitud: 3819 msnm	
Prof. (m)	Espesor (m)	Descripción Litológica			Simbología	Nivel del Agua (m)
0.00						
0.30	0.30	Material orgánico (O), de color pardo oscuro.				N.F. 3.40
6.50	6.20	Arena limosa (SM), de color pardo oscuro, compuesto por arenas de grano fino y limos de color pardo.				
7.70	1.20	Arena mal graduada (SP) de tamaño medio de color gris verdoso.				
7.90	0.20	Arena bien graduada (SW) de tamaño gruesa.				
8.20	0.30	Arcilla inorgánica (CH) de color pardo claro.				
9.30	1.10	Arena limosa (SM), de grano fino y color pardo.				
10.30	1.00	Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH), de color negro				

Figura 13

Perforación en el Sondaje de reconocimiento SR-02



c) **Sondaje de Reconocimiento SR-03**

El sondaje SR-03 se desarrolló en el Sector de Coatasí con una perforadora manual de tipo rotatorio, durante la perforación se realizó el muestreo y se identificó una correlación litológica de las arenas limosas que también se encuentran en el sondaje SR-02, que se observa en el perfil del Cuadro 4.

Cuadro 4

Perfil litológico SR-03

Sondaje: SR-03		Coordenadas UTM		E: 398993
Ubicación: Coatasi				N: 8278431
Diámetro de perforación: 3pulg.				Altitud: 3818 msnm
Prof. (m)	Espesor (m)	Descripción Litológica	Simbología	Nivel del Agua (m)
0.00				
0.50	0.50	Material orgánico (O), de color pardo oscuro.		
1.50	1.00	Limo inorgánico de baja plasticidad (ML), limos de color marrón.		N.F. 1.50
7.60	6.10	Arena Limosa (SM), intercalación de arenas de tamaño mediano y fino con limos, a una profundidad de 2.30 m se identifica una capa de aproximadamente de 7 cm de sal solidificado. A 4m de profundidad se determinó un estrato pequeño de arena fina.		
10.00	2.40	Arena bien Graduada (SW), una intercalación de arenas de tamaño grueso, medio y fino.		

Figura 14

Perforación en el sondaje de reconocimiento SR-03



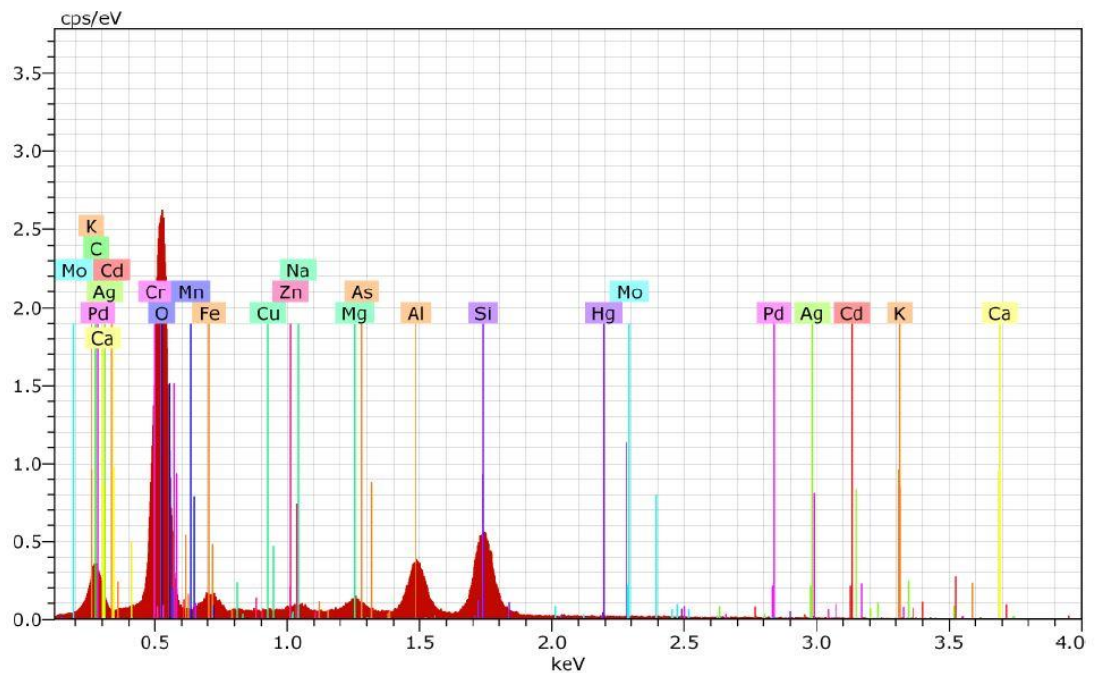
d) Análisis químico de suelos

Se realizó el muestreo de suelo en el sector de Pojsin del sondaje de reconocimiento SR-01, de ubicación en las coordenadas UTM; N: 8274787

E: 400052 a 7m de profundidad, con el objeto de identificar la composición química de la arcilla de color negro (ver Cuadro 2). El análisis cuantitativo se realizó con el Microscopio Electrónico de Barrido del Megalaboratorio de la UNA-Puno y se desarrolló en cuatro corridas.

Figura 15

Detección de elementos químicos en suelo



Nota. Se aprecia en la gráfica del análisis químico, buscando determinar el arsénico, las composiciones principales se ven de color rojo y por encima se especifica el elemento, se analizó en Microscopio Electrónico de Barrido del Megalaboratorio de la UNA Puno.

Los resultados del análisis se muestra en la Tabla 7, donde se aprecia el promedio de las corridas, la presencia del silicio con 27.2%, paladio 11.5%, hierro 5.2% y aluminio 4.7%, estos elementos se encuentran en contacto permanente con la fase acuosa y teniendo en cuenta que la presencia del hierro y el aluminio en su forma de oxihidróxidos contribuyen

con las reacciones de adsorción y desorción del arsénico en la interacción del agua-fase sólida, se prevé que a 7m de profundidad en el SR-01 el arsénico fue liberado por completo y se encuentra en forma iónica en la fase acuosa.

Tabla 7

Resultado de análisis químico de suelos

Elemento	Corrida 1 wt %	Corrida 2 wt %	Corrida 3 wt %	Corrida 4 wt %	Promedio wt %	wt (ppm)
O	38.85	37.87	50.01	51.62	44.6	445875
Si	26.89	27.56	27.45	26.96	27.2	272150
Pd	23.15	22.98	0	0	11.5	115325
Al	5.71	5.88	3	4.16	4.7	46875
Fe	4.41	4.55	5.25	6.42	5.2	51575
Mg	0.99	1.16	0.98	1.02	1.0	10375
Br	0	0	7.01	4.93	3.0	29850
Ba	0	0	2.17	0	0.5	5425
K	0	0	1.82	1.99	1.0	9525
Ca	0	0	1.29	1.33	0.7	6550
C	0	0	1.02	1.58	0.7	6500
Total	100	100	100	100	100	

Nota. Se aprecia los resultados del análisis con microscopio electrónico de barrido expresado en peso total (wt) y unidad el porcentaje (%), obteniendo un promedio y su conversión a partes por millón (ppm).

4.8.3 Niveles y Evolución de Aguas Subterráneas

Se monitoreó los pozos desde la superficie durante la época de avenidas (abril 2022) y época de estiaje (julio 2022), en los cuales se observó la fluctuación de la superficie freática en 13 pozos cuyas mediciones se muestran el Tabla 8.

Tabla 8*Niveles estáticos en el área de investigación*

Coordenadas UTM (WGS 84)		Ubicación	Prof. (m)	Abr-22	Jul-22
Este	Norte			Nivel de Agua	Nivel de Agua.
400525	8274379	Pojsin	4.87	3.10	3.25
400049	8274794	Pojsin	5.04	2.25	2.35
399280	8275332	Cojelaque	5.66	3.63	3.52
399691	8276023	Putucune	3.05	1.70	1.94
398672	8277430	Putucune	3.04	1.77	2.17
398471	8277335	Putucune	3.57	2.57	2.66
398750	8276879	Putucune	4.21	3.51	3.39
398773	8276706	Putucune	4.90	3.77	3.71
399130	8276628	Putucune	4.79	3.37	3.36
399180	8276226	Putucune	5.15	3.84	3.80
399042	8276722	Putucune	4.89	3.52	3.36
398784	8278408	Coatasi	3.64	0.04	0.71
398987	8278432	Coatasi	3.90	1.01	1.50

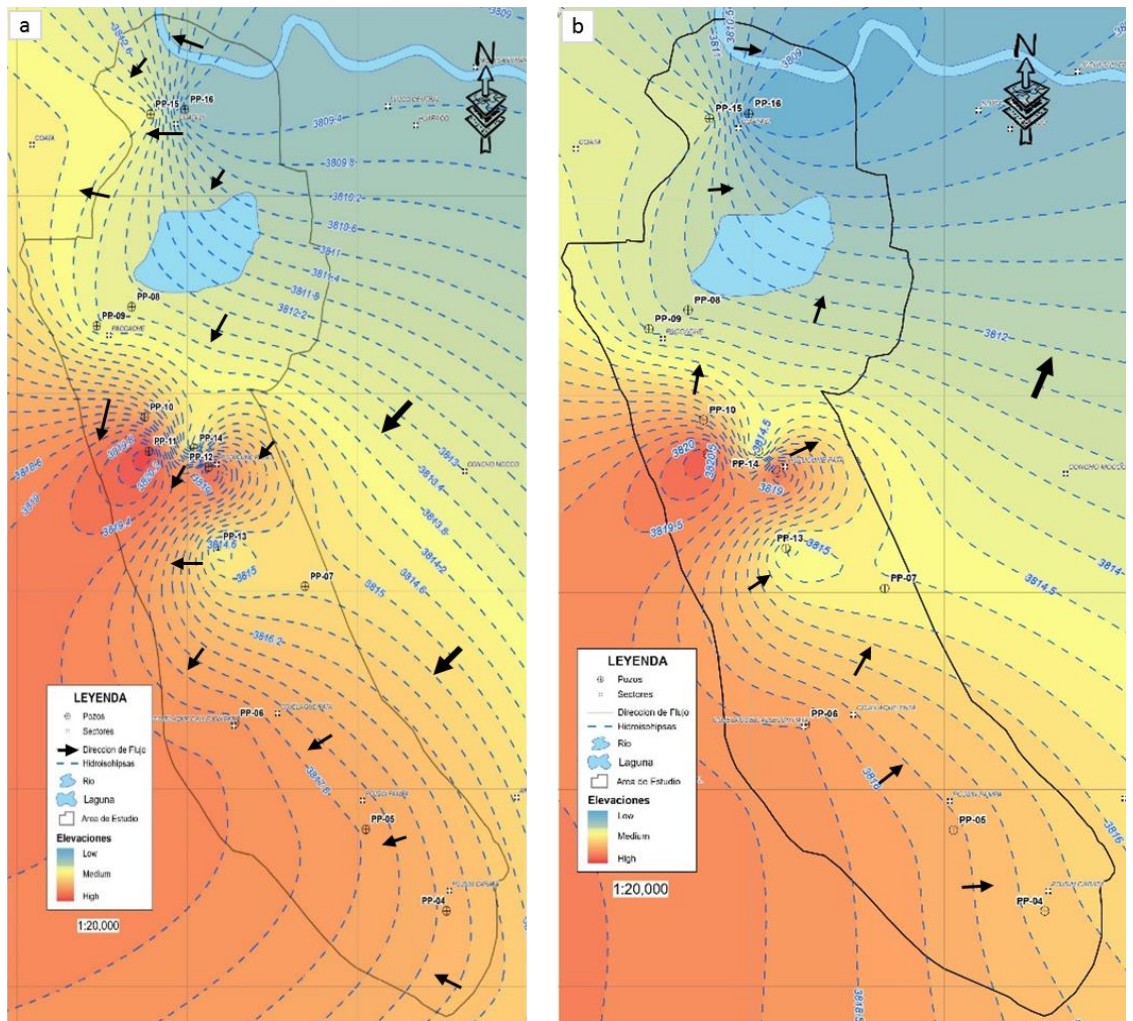
4.8.4 Dirección de Flujo de Agua Subterránea

Con datos de piezometría se elaboraron mapas de Hidroisohipsas utilizando software Surfer con el método de interpolación kriging para temporadas de estiaje y avenidas la cual se presenta en los Planos N° 7 y 8; Anexo G. En el plano de curvas equipotenciales se trazaron líneas de flujo siendo perpendiculares a las líneas equipotenciales. Según el trazado realizado de la dirección de flujo en épocas de avenida están en sentido noreste a suroeste, debido a la recarga permanente del río Coata a la cuenca del lago Titicaca por consecuente eleva el nivel freático y actúa como una especie de recarga para el área de estudio. En tanto, en épocas de estiaje la dirección de flujo actúa de suroeste a noreste, descargándose en dirección del río Coata y la cuenca del lago Titicaca, teniendo en cuenta que la permeabilidad de los estratos presentes es determinante en esta

interacción de flujos de agua subterránea y se observan espacialmente en la Figura 16.

Figura 16

Dirección de flujo en aguas subterráneas



Nota. a) Mapa de Isofreáticas en épocas de avenidas (abril, 2022). b) Mapa de Isofreáticas en épocas de estiaje (julio, 2022).

4.8.5 Hidrogeología de la Zona de Estudio

La hidrogeología de la zona de estudio se caracteriza por la geología local, tipo y secuencia de materiales acumulados en la zona, tanto en profundidad como su distribución en superficie. Según el mapeo hidrogeológico realizado (ver Plano



N°4; anexo G), está compuesto predominantemente por sedimentos arcillosos, arenas arcillosas y arenas limosas con horizontes salinos que afloran en la comunidad de Carata, por la naturaleza de los sedimentos que afloran, estas son de baja conductividad hidráulica de 10^{-1} a 10^{-4} cm/s según Coduto (1999), forman acuíferos pobres con ocurrencia de aguas de alta dureza, elevada conductividad eléctrica y con presencia de elementos tóxicos en altas concentraciones, cuyas aguas subterráneas según dirección de flujo en épocas de avenidas son de noreste a suroeste, porque estas reciben recarga mediante infiltración de aguas pluviales, desbordes del río Coata y subida de la elevación del nivel freático y en épocas de estiaje la dirección de flujo están en sentido suroeste a noreste descargan en el río Coata y riveras del lago Titicaca, cuyas aguas son de mala calidad, debido a que el tipo de relleno sedimentario local está conformado por materiales provenientes de las formaciones cercanas como las Calizas Ayavacas que según la estratigrafía de esta formación tienen horizontes de calizas arcillosas, limo arcillitas de coloración marrón rojiza, yeso, la cual genera aguas de alta dureza con alto contenido de sales disueltas, arsénico, plomo, cadmio y otros. El arsénico se encuentra asociado a sedimentos arcillosos con contenido de aluminio, hierro y manganeso.

4.9 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS HIDROQUÍMICOS

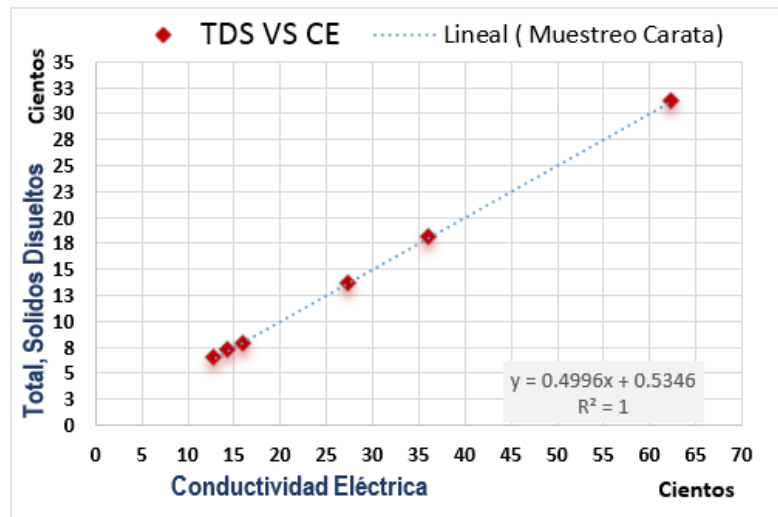
4.9.1 Correlación de Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos

Según los resultados de medición de parámetros físico químicos de aguas subterráneas cuyos datos se muestran en la tabla 10. La correlación entre total de sólidos disueltos y conductividad eléctrica en los pozos evaluados varían proporcionalmente entre sí, por lo tanto, se puede realizar el control de calidad de los resultados de laboratorio mediante una recta de tendencia tipo lineal. Según la

línea de tendencia mostrada en la Figura 17, la correlación entre los variables es alta y de baja dispersión, observando que tienen una tendencia directa por lo que los resultados de laboratorio son aceptables.

Figura 17

Correlación de TDS Vs CE.

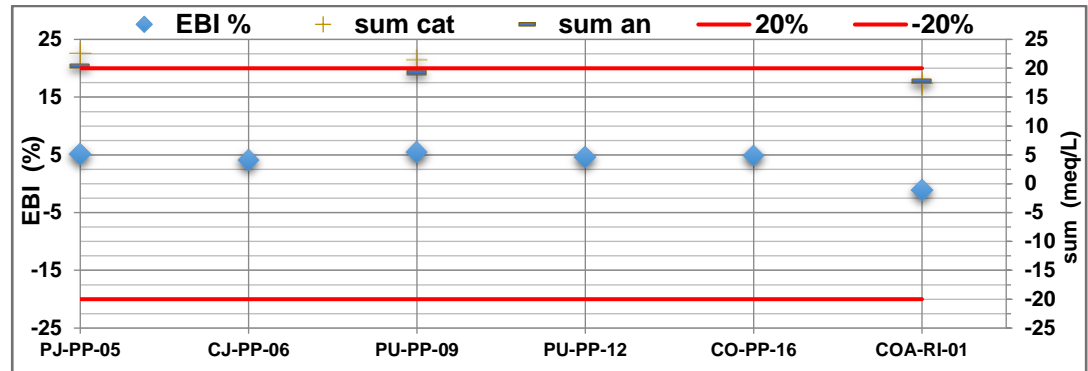


4.9.2 Cálculo de Error Balance Iónico (EBI)

Para determinar la electro-neutralidad de las muestras de agua analizadas, se realizaron balance iónico entre aniones y cationes, teóricamente se considera admisible cuando no supera el $\pm 20\%$, de esta forma se realizó el balance iónico sumando los componentes aniónicos y catiónicos para cada muestra. Para este equilibrio iónico se usaron el Ca, Mg, Na y K como cationes mayoritarios y el Cl, HCO₃ y SO₄ como aniones mayoritarios. Según los resultados se encuentran dentro del porcentaje de error aceptable, ya que las muestras se encuentran dentro de los límites aceptables que se observa en la Figura 18.

Figura 18

EBI de muestras de agua subterránea y superficial



4.10 HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La evaluación hidroquímica se realizó con resultados de las concentraciones de aniones, cationes y elementos traza de las muestras de agua de la comunidad de Carata. Los puntos de muestreo representativos se seleccionaron en la etapa de inventario de fuentes de agua, la ubicación está identificada en coordenadas UTM. En cada fuente de monitoreo se midieron los parámetros de pH, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, oxígeno disuelto y temperatura. Para análisis químico de las muestras de agua se desarrolló con los protocolos y cadena custodia, luego fueron trasladadas al Mega laboratorio de la UNA-Puno para el respectivo análisis, solicitando; aniones y cationes principales, metales disueltos y Totales.

Figura 19

Procesos de muestreo, medida de parámetros y entrega a Laboratorio



4.10.1 Muestreo

Se realizó campaña de muestreo de aguas subterráneas y superficiales el 30 de agosto del 2022 con la finalidad de evaluar la calidad del agua subterránea de la zona de Carata cuya ubicación se muestra en el plano N° 10 del Anexo G, se colectó 06 muestras de las siguientes fuentes de monitoreo que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Puntos de muestreo y ubicación

N°	Código	Coordenadas UTM (WGS 84)			Tipo de fuente	Ubicación
		Norte	Este	Cota(msnm)		
1	PJ-PP-05	8274943	400136	3820	Pozo	Sector Pojsin
2	CJ-PP-06	8275332	399280	3822	Pozo	Sector Cojelaque
3	PU-PP-09	8277341	398468	3816	Pozo	Sector Putucune
4	PU-PP-12	8276627	399126	3824	Pozo	Sector Putucune
5	CO-PP-16	8278436	398986	3810	Pozo	Sector Coatasi
6	COA-RI-01	8278668	399036	3809	Rio	Sector Coatasi

4.10.2 Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas

a) Parámetros fisicoquímicos

Se realizaron mediciones insitu de parámetros físicos de agua con instrumento Multiparámetro HANNA como: potencial de Hidrógeno, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, en la Tabla 9 se presenta los resultados de las mediciones realizadas.

Tabla 10

Parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas y superficiales

Parámetro	Temp. del H ₂ O	pH in situ	C.E.	O.D.	ORP	TDS	Caudal
Unidad	°C	u.e	uS/cm	ppm	mV	ppm	L/s
PJ-PP-05	13.33	7.27	1600.0	3.17	184.70	798.00	0.63
CJ-PP-06	13.58	6.98	3617.0	3.05	150.60	1806.00	0.72
PU-PP-09	12.48	8.00	1449.0	3.42	145.20	724.00	-
PU-PP-12	13.35	7.03	2745.00	3.10	125.00	1376.00	1.00
CO-PP-16	11.63	7.81	6231.0	4.51	183.70	3113.00	1.68
COA-RI-01	15.66	8.64	1296.0	5.13	152.30	648.00	-

- **Conductividad Eléctrica**

Este parámetro refleja la cantidad de sales disueltos contenidos en el agua cuyo valor está ligado a la solubilidad, litología y tiempo de residencia de las aguas subterráneas que se muestra en el Figura 20, en la que la CE varía entre 1449 y 6231 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respecto al ECA (1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en tres puntos es superado en los sectores de Cojelaque, Putucune y Coatasi, en este último muy cercano al río Coata es de mayor conductividad eléctrica alcanzando a los 6231 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que nos indica una gran concentración de iones disueltos. Para los LMP del

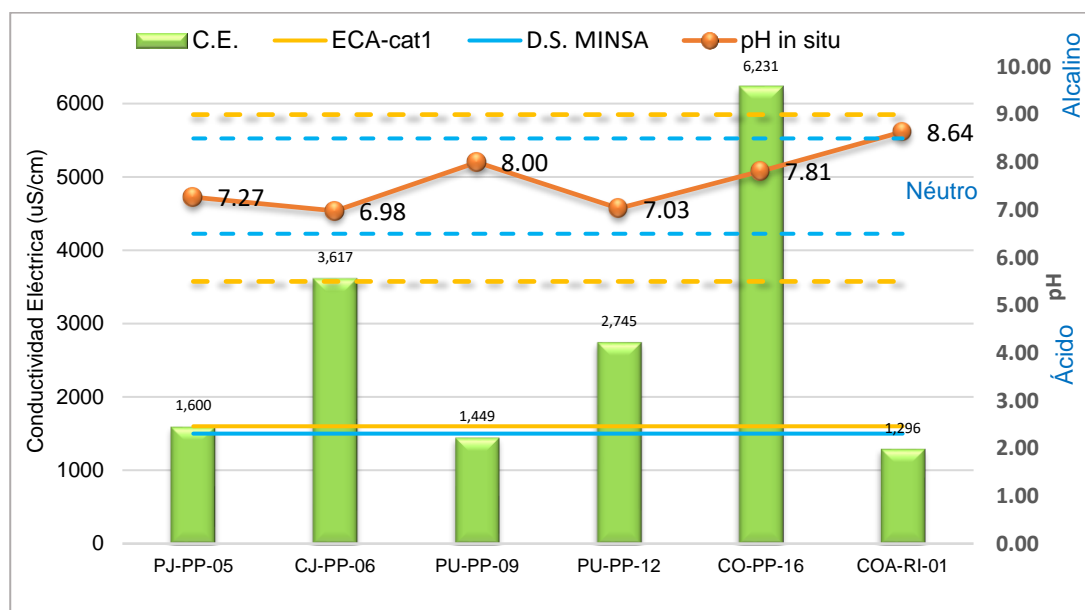
MINSA (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), superan en todos los sectores menos en el pozo 09. En aguas superficiales están dentro de los LMP del ECA como del MINSA.

- **Valores de potencial de Hidrógeno**

Estas aguas subterráneas presentan valores de 7.03 a 8.0, lo que se encuentra dentro de los parámetros de ECA (5.5-9.0) y los LMP del MINSA (6.5-8-5), el pH en el río Coata es de 8.6, siendo aguas alcalinas y que también califican para el ECA y que superan los LMP del MINSA, se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Conductividad Eléctrica y pH en el muestreo



Nota. Comparación doble de la CE y pH in situ con los Límites Máximos Permisibles del ECA y Calidad de agua para consumo humano del MINSA.

- **Oxígeno Disuelto**

El estándar de Calidad Ambiental establece que el oxígeno disuelto debe presentar valores mayores a 5 mg/L, de este modo se comparó los valores

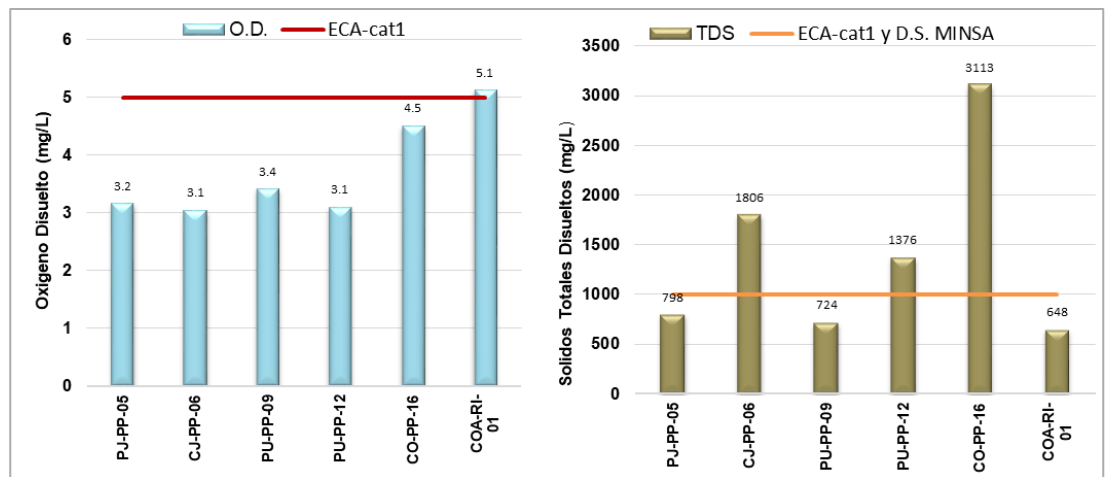
obtenidos en aguas subterráneas que son de 3.1 a 4.5 mg/L, concluyendo que los valores no son suficientes para establecerse en el ECA, véase la Figura 21.

- **Sólidos Totales Disueltos**

En la concentración de TDS en aguas subterráneas superan los límites máximos permisibles del ECA y MINSA (1000 mg/L) en los pozos CJ-PP-06, PU-PP-12 y CO-PP-16 se observan de manera gráfica en la Figura 21.

Figura 21

Oxígeno Disuelto y Solidos Totales en Suspensión



Nota. Se observa el diagrama de barras según la concentración de Oxígeno Disuelto y Solidos Totales Disueltos, en donde solo la muestra del río COA-RI-01, alcanza el oxígeno mínimo que un agua de consumo debe poseer según ECA.

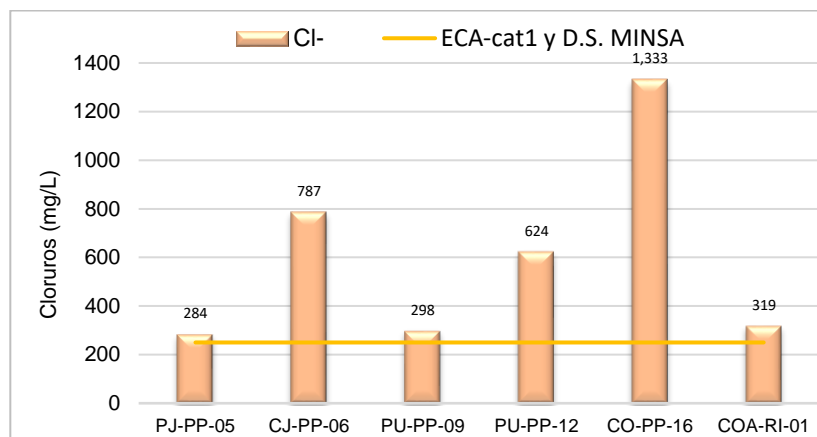
- **Cloruros**

El cloruro en aguas subterráneas es muy variable, pero tiene que ver con la elevada solubilidad de las sales presentes, en todos los puntos de muestreo el cloruro supera los LMP evaluados (ECA y MINSA, 250 mg/L), como se observa

en la Figura 22, donde el valor más elevado es de 1333 mg/L de concentración ubicado en el sector de Coatasi.

Figura 22

Diagrama de barras para concentración de cloruros

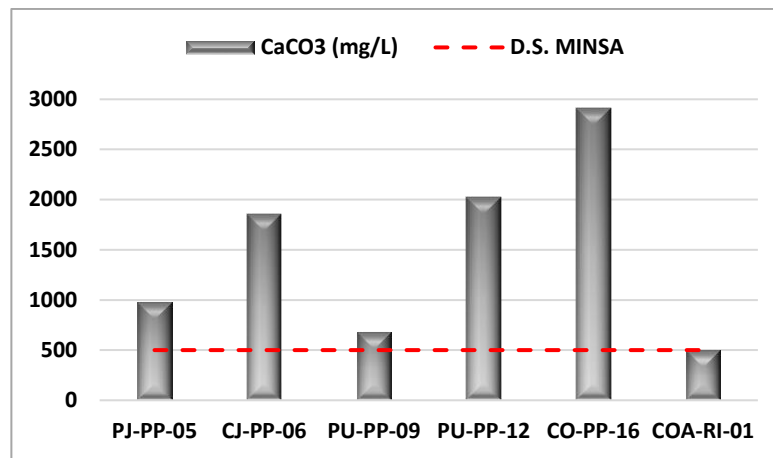


- **Dureza (MINSNA, 500 mg/L)**

Siendo un indicador de la capacidad del agua para neutralizar el jabón por efecto del Ca, Mg u otros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba. Según las mediciones realizadas en las diferentes fuentes se determinó valores entre 680.2 a 2914.6 mg/L según los valores determinados son aguas extremadamente duras cuyos valores superan los límites admisibles para aguas de consumo. En la Figura 23 se muestra las concentraciones graficadas.

Figura 23

Diagrama de barras para la concentración de la Dureza



b) Elementos Mayoritarios

Los elementos mayores son los que representan una concentración mayor a 1.0 mg/L, entre los cationes se realizó el análisis del Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+) y en aniones el Bicarbonato (HCO_3^-), Sulfato (SO_4) y Cloruro (Cl^-), cuyos resultados de concentración se observan en la Tabla 11.

Tabla 11

Elementos mayoritarios entre Cationes y Aniones

Codigo	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^-	K^-
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PJ-PP-05	230.67	283.60	273	194.96	84.59	50.8	142.81
CJ-PP-06	337.14	786.99	360	476.52	76.53	54.2	406.62
PU-PP-09	266.16	297.78	150	88.92	89.75	62.4	271.49
PU-PP-12	195.19	623.92	185	253.76	109.18	55.6	221.70
CO-PP-16	408.11	1332.92	360	403.44	221.73	50.6	867.70
COA-RI-01	159.70	319.05	256	123.12	46.179	58.5	192.30

Nota. Resumen de la concentración de aniones mayoritarios y cationes mayoritarios en unidades de miligramo por litro.

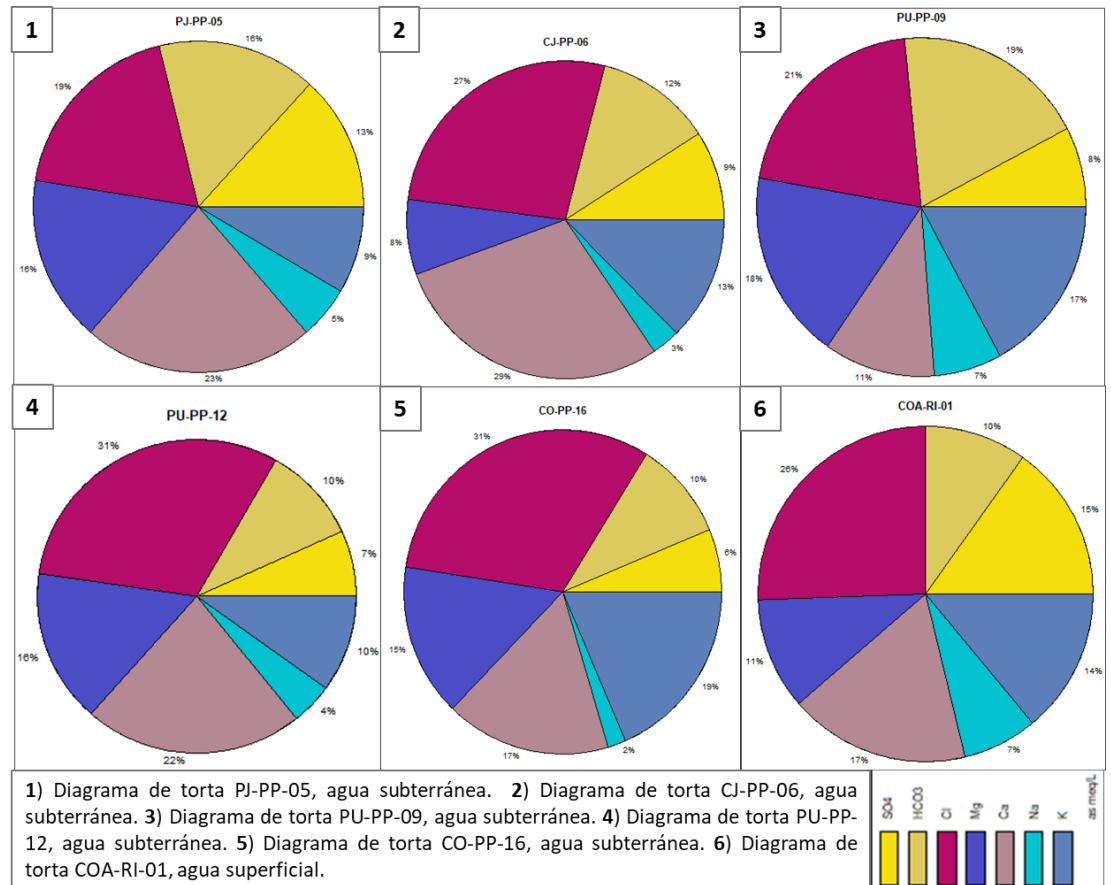


Para analizar las concentraciones se desarrolló con los diagramas circulares en el software Aquachem, cuyos resultados en aniones mayoritarios de aguas de pozo se identificó como anión dominante al cloruro con valores de 19 a 31%, seguidamente el bicarbonato entre los 10 y 19 % y sulfato entre 6 a 13% de concentración. En aguas superficiales del río Coata el anión dominante es el cloruro que está al 26% de concentración.

La concentración en cationes mayoritarios, en aguas de pozo el catión dominante es el Calcio que presenta valores de 11 a 29 % seguido del Potasio de 9 a 19 %, Magnesio 8 a 18 % y el Sodio de 2 a 7 %. En aguas superficiales el catión dominante es el Calcio con el 17 %, que se observa de manera gráfica en la Figura 24.

Figura 24

Diagrama de Torta en Cationes y Aniones



c) Elementos Minoritarios

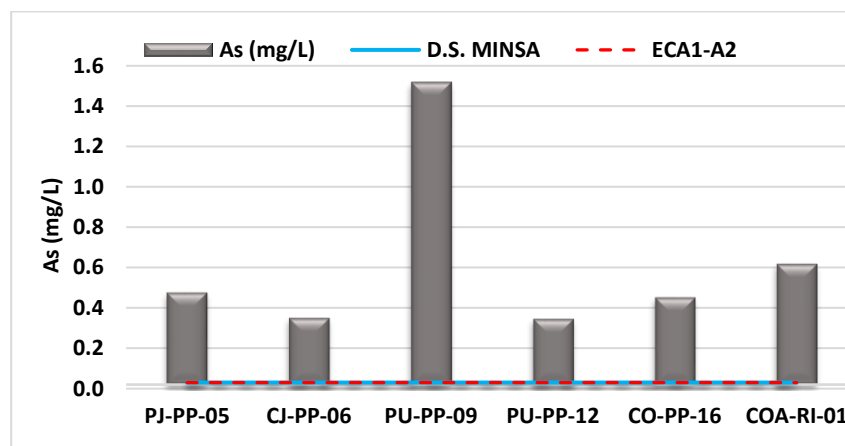
El análisis de las muestras de agua en laboratorio dio como resultado la presencia de elementos menores en altas concentraciones, por ello se realizó los diagramas de chart para su comparación con los límites permisibles del ECA Cat-I y al Reglamento de la calidad del agua para consumo humano según D.S. N° 031-2010-SA, de los que se describe a continuación:

- **Ión Arsénico**

El ión Arsénico se encontró en todos los puntos de muestreo en aguas subterráneas de pozo, como también en el río Coata, su concentración fluctúa entre 0.32 a 1.50 mg/L, lo que excede en demasía a los LMP evaluados de 0.01mg/L, su mayor concentración se encontró en el pozo de código PU-PP-09 que se encuentra en el sector de Putucune, de manera gráfica se observa en la Figura 25.

Figura 25

Distribución de As en aguas subterráneas y superficiales

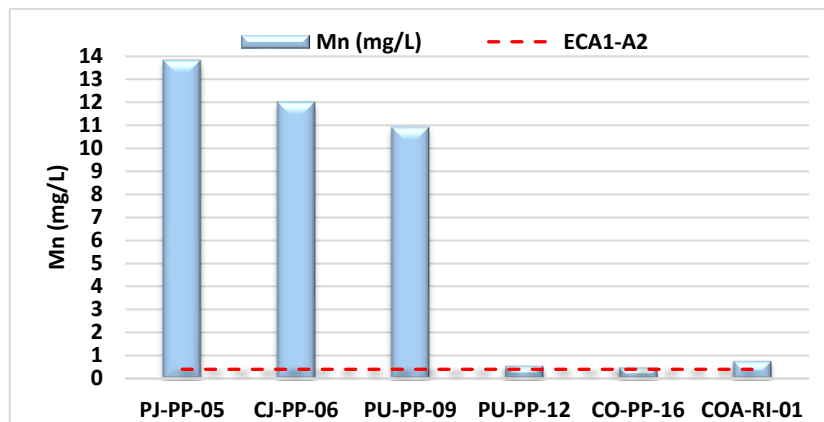


- **Ión Manganeso**

Las concentraciones del ión Manganeso no deben superar los 0.4 mg/L, en las muestras obtenidas de aguas subterráneas exceden en demasía al ECA en tres pozos PJ-PP-05, CJ-PP.06 y PU-PP-09, los valores se encuentran entre 0.51 a 13.8 mg/L. En cuanto al agua superficial del río Coata, tiene una concentración de 0.79 mg/L, que también excede al ECA y se observa en la Figura 26.

Figura 26

Distribución del Mn en aguas subterráneas y superficiales

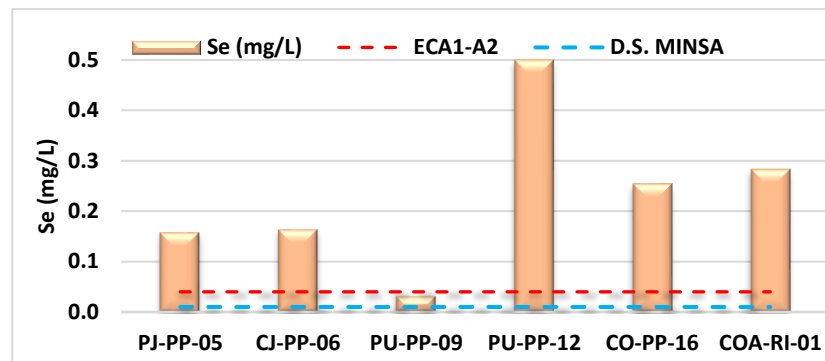


- **Ión Selenio**

Respecto al Ión Selenio, se evaluó con los límites máximos permisibles que determina el ECA (0.04mg/L) y el decreto supremo del MINSA (0.01mg/L), las concentraciones de selenio en aguas de pozo se encuentran entre 0.03 a 0.49 mg/L, excediendo en todas las muestras analizadas, teniendo su mayor concentración en el pozo PU-PP-12 del sector de Putucune. En cuanto al agua superficial, tiene una concentración de 0.28 mg/L, el que también excede los LMP evaluados y se observa en la Figura 27.

Figura 27

Distribución del Se en aguas subterráneas y superficiales



- **Otros parámetros evaluados**

Al identificar diferentes iones que superan los límites máximos permisibles evaluados se desarrolló en el cuadro 5 donde se aprecia los diferentes parámetros evaluados cuyos gráficos también se observan en la Figura 28.

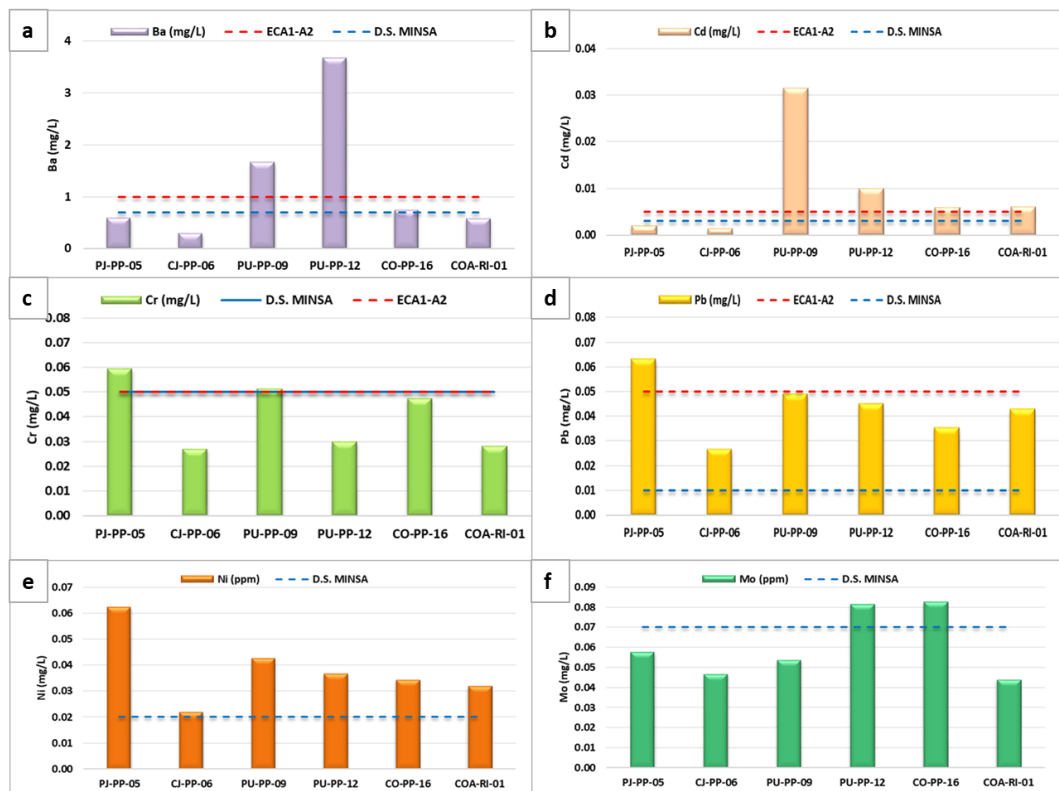
Cuadro 5

Parámetros que superan los LMP evaluados

Parámetros	Límites Máximos Permisibles		Fuentes de agua que superan los LMP evaluados		
	ECA (mg/L)	MINSAs (mg/L)	Código	mg/L	Ubicación
Bario	1	0.7	PU-PP-09	1.7	Se ubican en el sector de Putucune
			PU-PP-12	3.7	
Cadmio	0.005	0.003	PU-PP-09	0.032	Sector Putucune
			PU-PP-12	0.010	Sector Putucune
			CO-PP-16	0.006	Sector Coatasi
			COA-RI-01	0.006	Rio Coata
Plomo	0.05	0.01	CJ-PP-05	0.06	Sector Cojelaque
			TODOS		Todas las muestras superan los LMP del MINSAs.
Cromo	0.05	0.05	CJ-PP-05	0.059	Sector Cojelaque
			PU-PP-09	0.052	Sector Putucune
Níquel	-	0.02	TODOS		Todas las muestras superan los LMP del MINSAs.
Molibdeno	-	0.07	PU-PP-12	0.081	Sector Putucune
			CO-PP-16	0.083	Sector Coatasi

Figura 28

Distribución de elementos minoritarios en aguas subterráneas y superficiales



Nota. Comparación gráfica de elementos que superan los límites máximos permisibles evaluados que se describe en el Cuadro 5; **a)** Distribución del Bario, **b)** Distribución Cadmio, **c)** Distribución Cromo, **d)** Distribución Plomo, **e)** Distribución Níquel y **f)** Distribución Molibdeno.

4.10.3 Facies Hidroquímicas

El análisis e interpretación de datos hidroquímicos, se realizaron utilizando diagramas hidroquímicos cuyos cálculos, figuras y gráficos se muestran en el Anexo D, D-3., se utilizó el diagrama de Piper y se determinó las facies hidroquímicas según los datos representados en el diagrama, se puede apreciar que las aguas son de tipo Clorurada, pero esta tipología es variable en cada pozo para ello se describe las facies hidroquímicas en el siguiente cuadro:

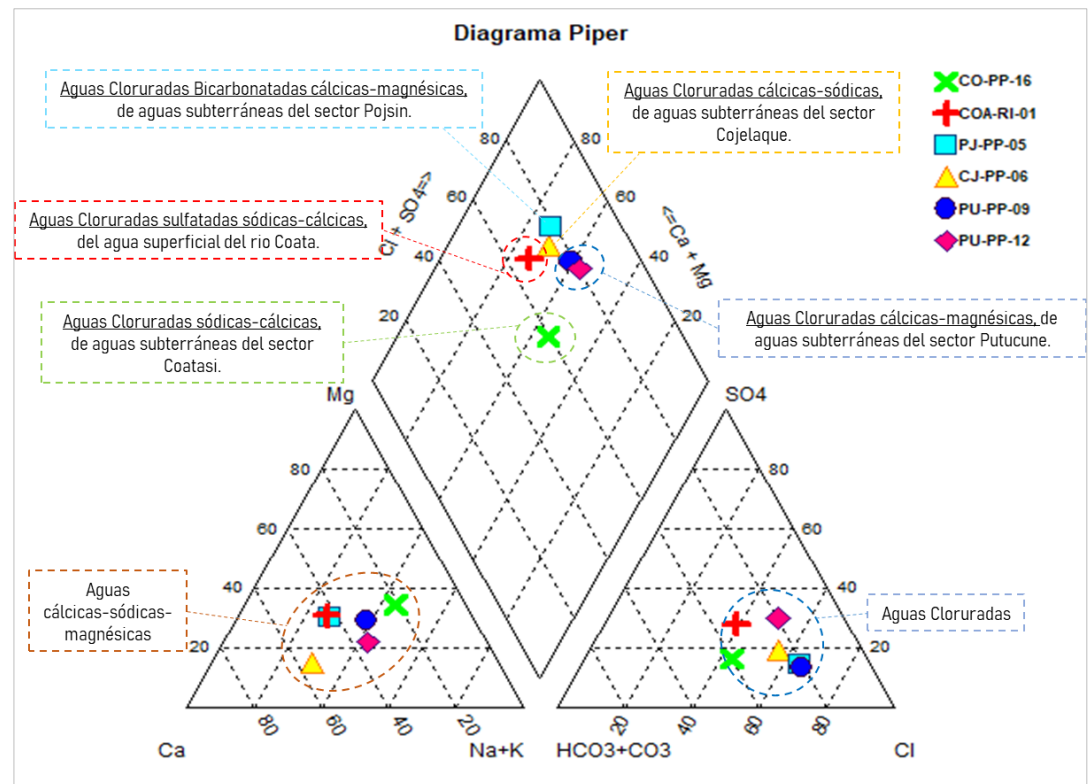
Cuadro 6

Facies hidroquímicas del área de estudio

Código	Facies Hidroquímicas	Formula	Ubicación
PJ-PP-05	Cloruradas Bicarbonatadas cálcicas - magnésicas	Cl-HCO3-Ca-Mg	Pojsin
CJ-PP-06	Cloruradas cálcicas - sódicas	Cl-Ca-Na	Cojelaque
PU-PP-09	Cloruradas bicarbonatadas sódicas - magnésicas	Cl-HCO3-Na-Mg	Putucune
PU-PP-12	Cloruradas cálcicas – magnésicas	Cl-Ca-Mg	Putucune
CO-PP-16	Cloruradas sódicas – cálcicas	Cl- Na-Ca	Coatasi
COA-RI-01	Cloruradas sulfatadas sódicas- cálcicas	Cl-SO4-Na-Ca	Rio Coata

Figura 29

Diagrama Piper de agua subterránea y superficial



Nota. Se desarrolló diagramas triangulares de aniones mayoritarios y cationes mayoritarios respectivamente en unidades de porcentaje, ello se proyectó en un diagrama romboide donde se determinó las diferentes facies hidroquímicas.

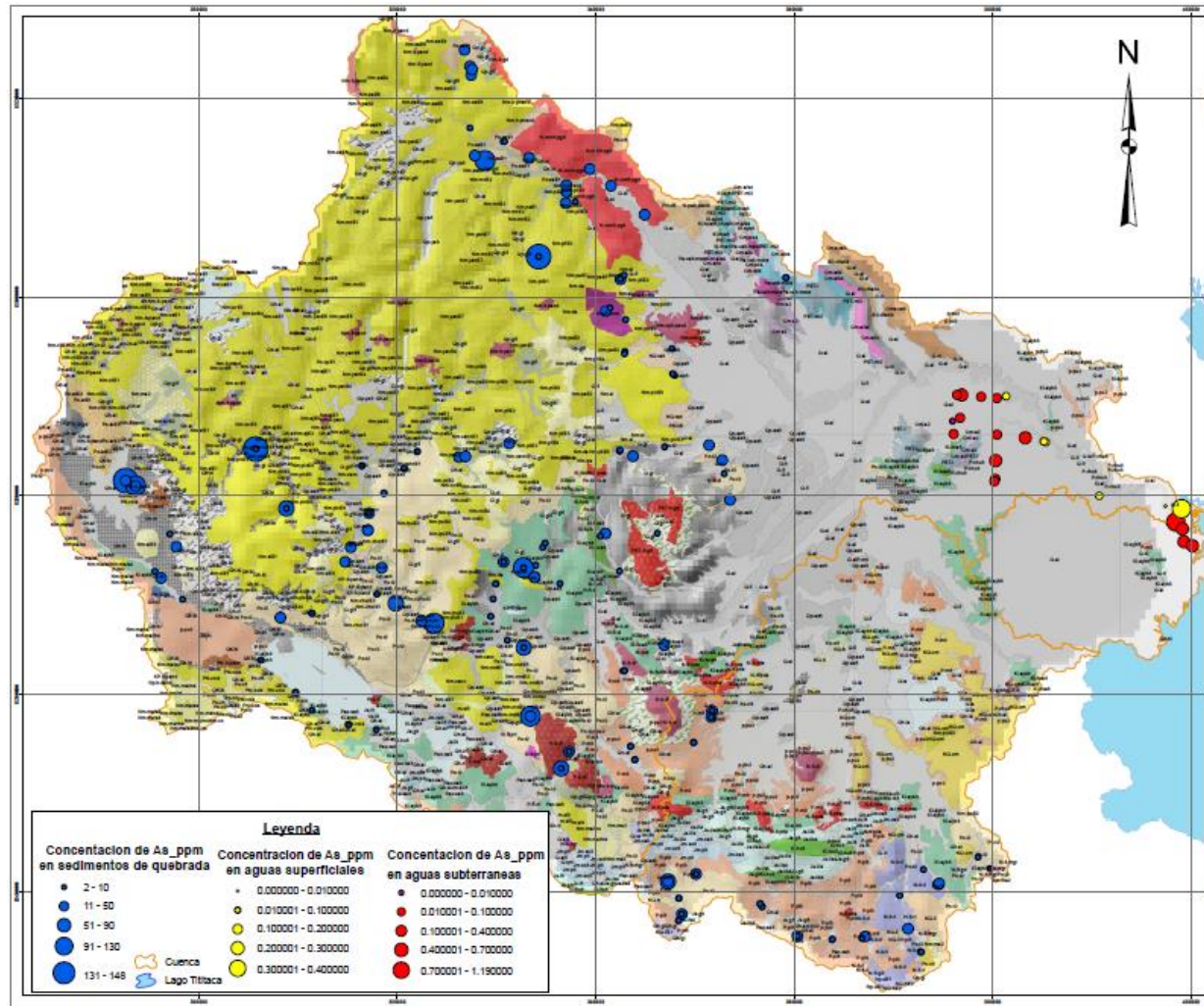


4.11 MOVILIDAD DEL ARSÉNICO

La presencia del arsénico en concentraciones elevadas en el área de estudio es de origen natural producto de la disolución de minerales con contenido de arsénico, hierro, manganeso y aluminio que se encuentran presentes en sedimentos meteorizados de las formaciones que rodean la zona de estudio entre ellas de la formación calizas Ayavacas. Asimismo, al sintetizar sobre un mapa la distribución del arsénico en sedimentos, aguas subterráneas y aguas superficiales en la cuenca Coata, Ilpa e inter cuenca 0175, se observa en los límites superiores de la cuenca Coata que las unidades rocosas de origen volcánico se distribuyen con gran amplitud, pertenecientes a la edad Neógeno, de litologías tobas, dacitas, cenizas volcánicas y el emplazamiento de flujos piroclásticos, al pie de dichas unidades litológicas se ve gran concentración de Arsénico en sedimentos de quebrada, así también en el Paleógeno la presencia del grupo Tacaza, conformado de andesitas, tobas y cenizas volcánicas que atribuyen el aporte del ión arsénico. Sin dejar de lado a las rocas sedimentarias como son la formación Ayavacas del cretáceo inferior de litología calizas que se intercalan con limoarcillitas, arcillas rojas y lutitas calcáreas rojas que al pie de estos se determina 91 ppm de Arsénico en la cuenca Coata, así también en la parte baja de la cuenca Coata se observa presencia de Arsénico en aguas subterráneas en pozos de la ciudad de Juliaca y altos contenidos de Arsénico en aguas superficiales del río Coata, dicha distribución se observa en la Figura 30.

Figura 30

Distribución del As en sedimentos de quebrada, aguas subterráneas y superficiales





Nota. Se observa el mapa en las cuencas de Coata, Ilpa e intercuenca 0175, donde el arsénico se presenta al pie de rocas volcánicas en su mayoría, cuya información es fuente de la prospección geoquímica del Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú y otras investigaciones.

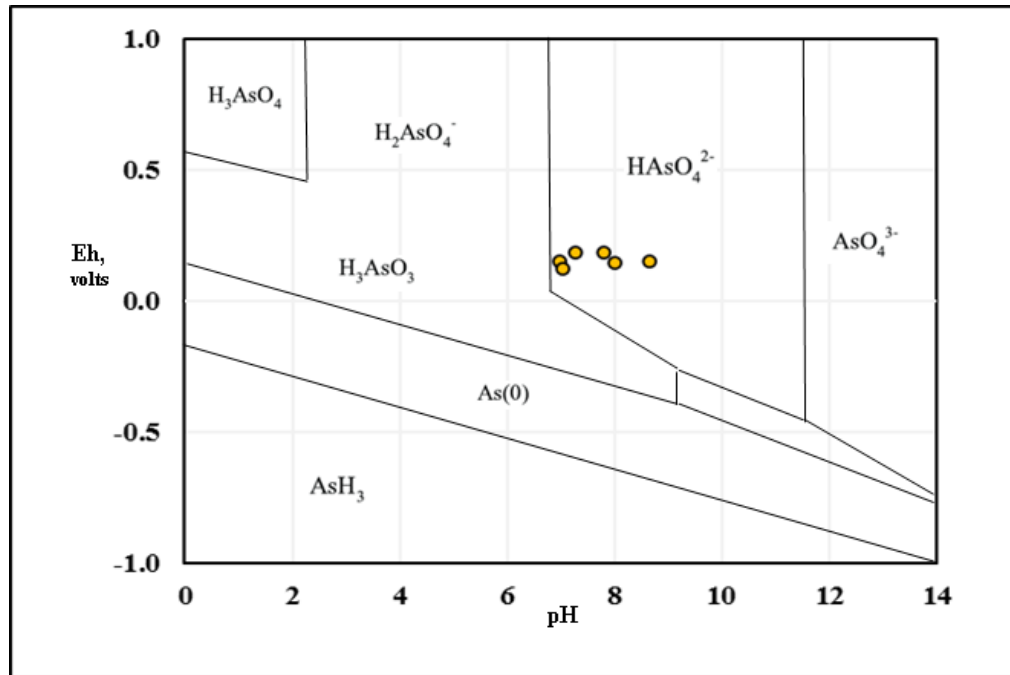
La meteorización y erosión debido a distintos factores de la geodinámica interna y externa contribuyeron al gran aporte de sedimentos con importantes concentraciones de hierro, manganeso y aluminio que están muy ligados con el arsénico, en este caso como componentes secundarios en su forma sólida, pero al ingresar en la fase acuosa, se desarrolla el intercambio iónico por adsorción y desorción. La adsorción por oxihidróxidos de hierro y aluminio en concentraciones elevadas, de tal manera que el arsénico fue liberado por desorción al entrar a un ambiente oxidante con un pH neutro que tienden a la alcalinidad.

4.11.1 Movilidad

La movilidad del arsénico en el área de estudio depende de las condiciones redox y pH del agua, al encontrarse en medio oxidante el arsénico se encuentra disuelto en su forma de arsénico pentavalente As^5 , en su especie dominante $HAsO_4^{2-}$ con pH mayores a 7, como se observa en la Figura 31 y se referencia en Smeddley y Kinninburg (2002). Estas condiciones también favorecen la disolución del Selenio, Molibdeno y Plomo (Fernández y Turiel et al., 2005).

Figura 31

Diagrama de Pourbaix del Arsénico en agua



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CALIDAD DEL AGUA SEGÚN ECA

A partir de los resultados obtenidos en análisis de laboratorio y datos de campo, se determinó que, al evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua, se identificó valores elevados en Cloruros, Conductividad Eléctrica, Oxígeno disuelto y Sólidos Totales Disueltos los que superan el ECA, y en los elementos inorgánicos se determinó valores elevados en Arsénico, Bario, Cadmio, Manganeso y Selenio los que se observan en la Tabla 12 y Figura 32. Estos resultados guardan relación con los resultados que obtiene Belizario (2011), de tal manera que se corrobora la presencia de aguas subterráneas de mala calidad.

Tabla 12

Parámetros que superan los LMP del ECA

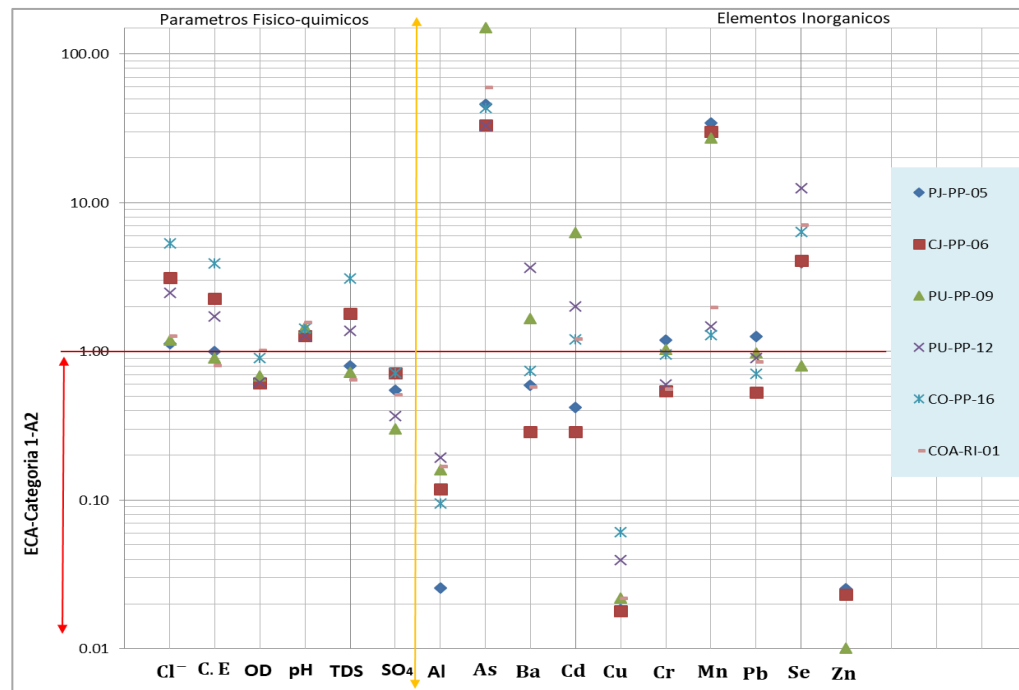
L.M.P.	FISCO-QUIMICOS						INORGANICOS										
	250	1600	5	5.5 - 9	1000	500	5	0.01	1	0.005	2	0.05	0.4	0.05	0.04	5	
Parametros	Cl ⁻	C.E.	OD	pH	SDT	SO ₄	Al	As	Ba	Cd	Cu	Cr	Mn	Pb	Se	Zn	
Unidad	mg/L	(µS/cm)	mg/L	u.e	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
CODIGO	PJ-PP-05	283.60	1600	3.17	7.27	798	273	0.128	0.458	0.590	0.002	0.037	0.059	13.816	0.063	0.158	0.127
	CJ-PP-06	786.99	3617	3.05	6.98	1806	360	0.591	0.333	0.288	0.001	0.036	0.027	12.002	0.027	0.164	0.116
	PU-PP-09	297.78	1449	3.42	8.00	724	150	0.805	1.498	1.659	0.032	0.044	0.052	10.916	0.049	0.032	0.050
	PU-PP-12	623.92	2745	3.10	7.03	1376	185	0.962	0.328	3.679	0.010	0.079	0.030	0.586	0.045	0.499	0.033
	CO-PP-16	1332.92	6231	4.51	7.81	3113	360	0.475	0.435	0.741	0.006	0.122	0.048	0.516	0.035	0.255	0.042
	COA-RI-01	319.05	1296	5.13	8.64	648	256	0.848	0.600	0.583	0.006	0.044	0.028	0.793	0.043	0.283	0.035

■ Superan los Estándares de Calidad Ambiental

Nota. Los parámetros a comparar se ubican en la primera fila de contenido numérico y expresados en sus unidades respectivos que se observa en la tabla, los resultados que sobrepasen o no cumplen con los estándares de calidad ambiental se encuentran resaltados de color.

Figura 32

Comparación de ECA Vs Resultados de análisis de Laboratorio



5.2 CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL REGLAMENTO DEL MINSA

Al comparar los resultados de laboratorio con los valores de límite máximo permisibles del reglamento de la calidad del agua para consumo humano, se observó que los de conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cloruros, sulfatos, dureza, manganeso y Aluminio sobrepasan los límites admisibles para aguas de consumo. En cuanto a los elementos traza que superan los LMP son el As, Ba, Cd, Ni, Pb, Se y Mo, la condición descrita se muestra en la Tabla 13 y Figura 33. Estos resultados guardan relación con el ítem 5.1 y los resultados que obtiene Belizario (2011), calificándoles aguas muy duras, salinas y mineralizadas, de tal manera que se corrobora la hipótesis planteada de la presencia de aguas de mala calidad no aptos para consumo humano.

Tabla 13

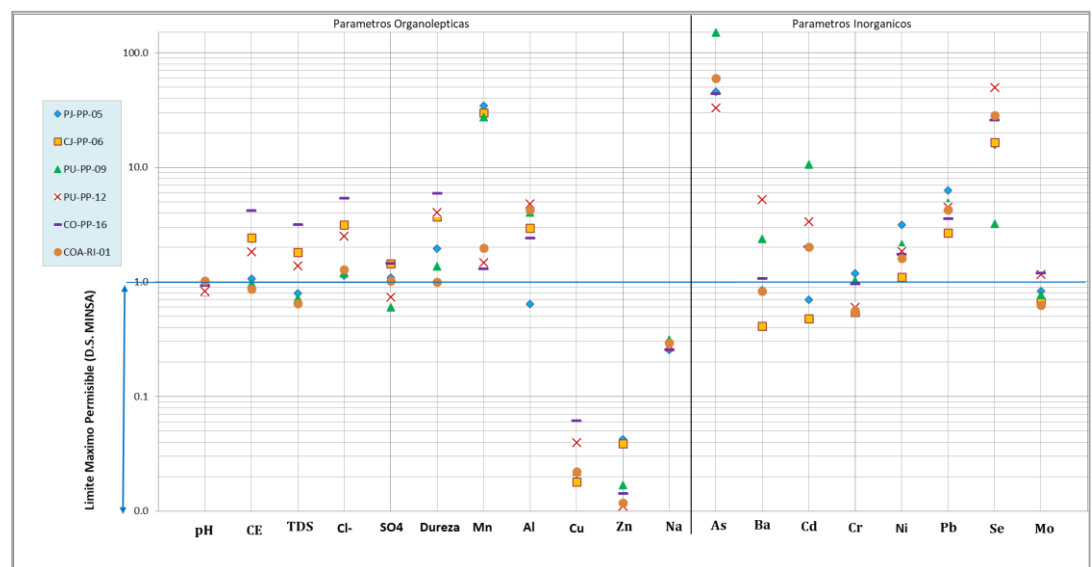
Parámetros que superan los LMP del MINSA

L.M.P. (MINSA)	PARAMETROS ORGANOLEPTICAS											PARAMETROS INORGANICOS								
	6.5 a 8.5	1500	1000	250	250	500	0.4	0.2	2	3	200	0.01	0.7	0.003	0.05	0.02	0.01	0.01	0.07	
Parametros	pH	CE	TDS	Cl-	SO4	Dureza	Mn	Al	Cu	Zn	Na	As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	Se	Mo	
Unidad	u.e	µmho/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
CODIGO	PJ-PP-05	7.27	1600	798	284	273	980.4	13.816	0.1277	0.04	0.13	50.8	0.458	0.590	0.002	0.059	0.063	0.158	0.058	
	CJ-PP-06	6.98	3617	1806	787	360	1854.4	12.002	0.5914	0.04	0.12	54.2	0.333	0.288	0.001	0.027	0.022	0.027	0.164	0.047
	PU-PP-09	8.00	1449	724	298	150	680.2	10.916	0.8052	0.04	0.05	62.4	1.498	1.659	0.032	0.052	0.043	0.049	0.032	0.054
	PU-PP-12	7.03	2745	1376	624	185	2021.6	0.586	0.9621	0.08	0.03	55.6	0.328	3.679	0.010	0.030	0.037	0.045	0.499	0.081
	CO-PP-16	7.81	6231	3113	1333	360	2914.6	0.516	0.4748	0.12	0.04	50.6	0.435	0.741	0.006	0.048	0.034	0.035	0.255	0.083
COA-RI-01	8.64	1296	648	319	256	497.8	0.793	0.8476	0.04	0.04	58.5	0.600	0.583	0.006	0.028	0.032	0.043	0.283	0.044	

■ Superan los Límites Máximos Permisibles del MINSA.

Figura 33

Comparación de LMP del MINSA Vs Resultados de análisis de laboratorio



5.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

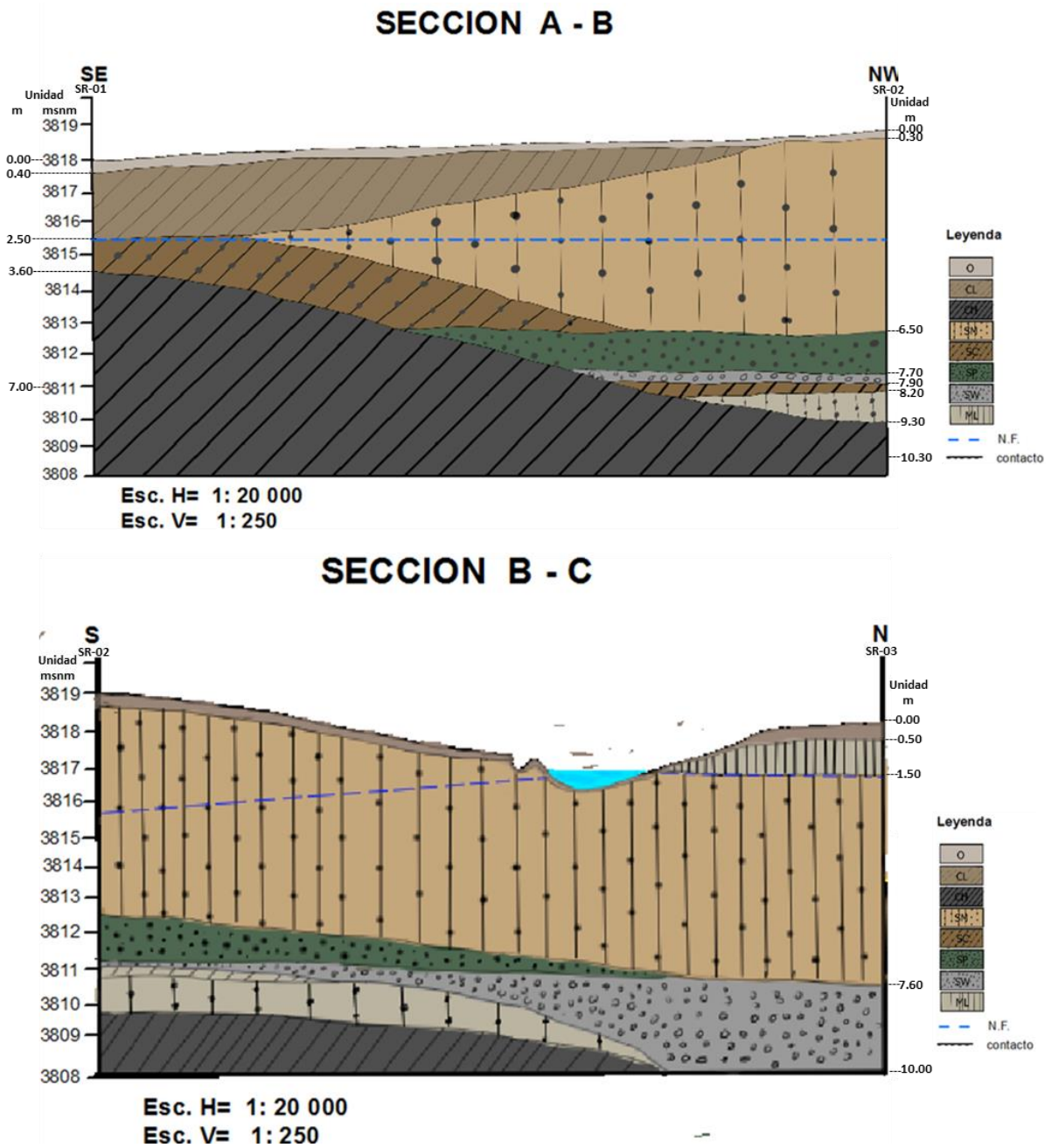
Según los resultados obtenidos con los sondajes de reconocimiento realizados, dirección de flujo y medida de parámetros, se identificó la presencia de material cuaternario de origen aluvial, al sur del área de investigación en el sector de Pojsin se aprecia una secuencia de arcilla, arenas arcillosa y arcilla negra llegando hasta los 7m, en el sector de Putucune se identificó una secuencia de arenas limosas con intercalación de arcillas en pequeños espesores hasta llegar los 9.30 m a partir de allí se identificó la presencia de la arcilla inorgánica negra, que se correlaciona con el sondaje SR-01 y en el



sector de Coatasi se identificó un estrato superior de limo de 1m de espesor seguido de ésta se aprecia la presencia de una secuencia de arenas limosas y arenas bien graduadas llegando hasta los 9 m de espesor y que se correlaciona con el SR-02, el nivel freático se encuentra entre 1.50 a 3.50 m de profundidad, formando así un acuífero pobre debido a la presencia de limos (Custodio y Llamas, 1983), la composición química del estrato profundo de Arcillas negras (CH), que se muestreo a 7m de profundidad es de 44.59% de O, 27.2% de Si, 4.7% de Al, 5.2% de Fe y 1.04% de Mg, en la que se prevé que el arsénico se encuentra completamente disuelto a dicha profundidad. La dirección de flujo está condicionada por las épocas de avenida y épocas de estiaje; ya que en épocas de avenida la dirección de flujo es en sentido noroeste a suroeste y en épocas de estiaje en sentido suroeste a noroeste.

Figura 34

Sección geológica



Nota. La sección geológica A-B se obtuvo de la interpretación de los sondajes SR-01 y SR-02. La sección geológica B-C por los sondajes SR-02 y SR-03.

5.4 CALIDAD HIDROQUÍMICA

Los resultados de la hidroquímica en el área de estudio, en aguas subterráneas predomina la facie de aguas Cloruradas cálcicas y sódicas y en aguas superficiales del río Coata es de facie, aguas cloruradas sulfatadas sódicas-cálcicas, lo que las hace aguas de mala calidad hidroquímica ya que el agua para consumo es de facie bicarbonatada.

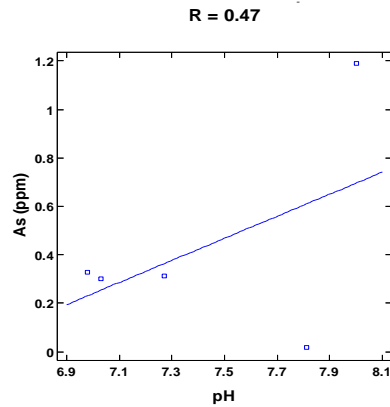
5.5 METALES PESADOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se confirma la presencia de metales pesados en concentraciones elevadas como es el Arsénico y otros metales en aguas subterráneas que afirmó Mamani (2019), Apaza y Calcina (2014). El arsénico presente se encuentra en un ambiente oxidante en su forma As^{-5} en su especie dominante $HAsO_4^{2-}$ con pH mayores a 7, que están en alta concentración de arsénico, (Hernández y Fernández, 2002) sostiene la existencia de contaminación natural del As, pero la presencia del As en aguas subterráneas no deriva de una contaminación natural ya que no está involucrado un agente externo o acción humana para alterar el medio subterráneo, sino por la composición mineralógica del suelo o roca que la alberga y la presencia de flujos de agua ha llevado a que se desarrollen estos ambientes anómalos con presencias elevadas de As.

Se puede observar en la Figura 35, la existencia de una correlación positiva que al aumentar el pH es mayor la concentración del As, afirmando la relación descrita por Blanes y Giménez (2006). Los valores típicos de pH en aguas subterráneas son 6.5 – 8.5 y en las aguas muestreadas son de 6.9 – 8.0, planteando así que en valores altos de pH ocurren fenómenos de desorción y liberan al arsénico aumentando su contenido en las aguas (Johannesson y Tany, 2009).

Figura 35

Correlación As y pH

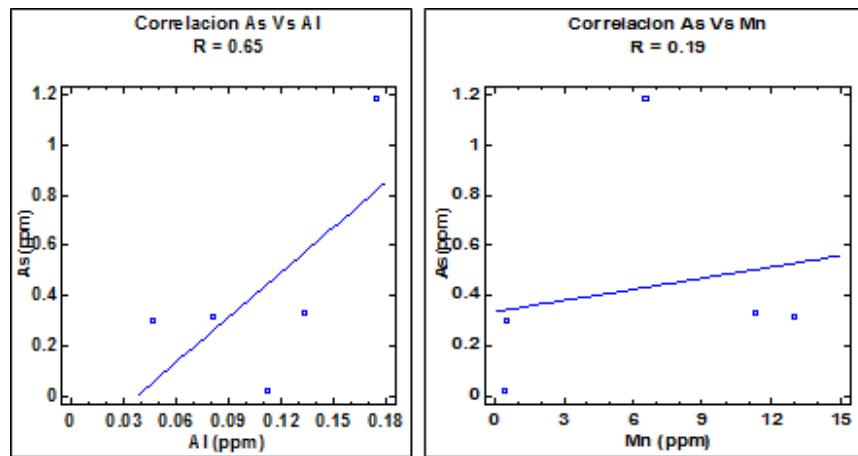


Nota. Se observa una correlación positiva moderada entre el arsénico y el pH in situ desarrollado en el programa Statgraphics.

Observando en la Figura 36, la correlación positiva ($R= 0.65$) moderada del Arsénico vs Aluminio y la correlación positiva baja con el Manganeso, los oxihidróxidos de Hierro, Manganeso y/o Aluminio pierden afinidad por el Arsénico al elevarse el pH y estar en medios oxidantes (O.D en área de investigación 3 - 4.5 mg/L), de tal manera que el Arsénico es fuertemente desorvido mediante intercambio iónico (Pierce and Moore, 1982). Son estos los factores naturales que controlan la movilidad y concentración del arsénico en el área de investigación.

Figura 36

Correlación As/Al y Mn



Nota. Se observa una correlación positiva moderada entre el arsénico y el aluminio, correlación positiva baja entre el arsénico y el manganeso las que se desarrollaron en el programa Statgraphics.



VI. CONCLUSIONES

- Las aguas subterráneas presentes en los depósitos aluviales de las planicies de Coatasi, Putucune, Cojelaque y Pojsin superan los estándares de calidad ambiental categoría 1 –A2 y los límites máximos permisibles del reglamento de la calidad del agua para consumo humano que establece el MINSA; en los siguientes parámetros fisicoquímicos y organolépticos CE, TDS, OD, SO₄, Al y CaCO₃. En elementos inorgánicos se encuentran en altas concentraciones el As, Mn, Se, Cd, Pb y Ni, siendo aguas de mala calidad no aptos para consumo humano.
- La hidrogeología está condicionada por el tipo de material predominante en la zona de Cojelaque y Pojsin, que está compuesto por una secuencia de arcillas y arenas arcillosas, de propiedades hidráulicas de baja permeabilidad. En las zonas de Putucune y Coatasi se identificó la presencia de arenas limosas y arenas, de baja permeabilidad (acuífero pobre).
- La hidroquímica en aguas subterráneas en la zona de estudio se caracteriza por ser aguas Cloruradas cálcicas y sódicas, en aguas superficiales son de tipo Sulfatadas Cloruradas sódicas-cálcicas, siendo así aguas salobres de mala calidad hidroquímica.
- La presencia del arsénico en concentraciones por encima de 0.01 mg/L, se debe a la presencia de estratos mineralizados en el área de estudio, cuya ocurrencia de la alta concentración es debido a que el arsénico, al ingresar a un ambiente oxidante y de pH neutro con tendencia a condiciones básicas, el arsénico es liberado por desorción mediante intercambio iónico por oxihidróxidos de manganeso y aluminio presentes en el medio subterráneo.



VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda no consumir de las aguas subterráneas y superficiales presentes en la zona de Coatasi, Putucune, Cojelaque y Pojsin, porque el consumo prolongado del Arsénico, Selenio, Plomo y Cadmio es estar expuestos a contraer enfermedades como cáncer a la piel, patologías cardiovasculares, diabetes, afecciones en las articulaciones, hipertensión arterial, anemia y alteraciones en las funciones reproductoras, inmunológicas, neurológicas y del desarrollo.
- Se recomienda realizar pruebas hidráulicas por cada estrato identificado para determinar las características hidráulicas a detalle.
- Se recomienda realizar estudios de Hidrogeoquímica e isotopía para determinar la residencia y la evolución del flujo que se desarrolla en las aguas subterráneas de la zona baja de la cuenca Coata.
- Se recomienda realizar investigaciones de la mineralogía de los estratos de suelos presentes en la cuenca baja del río Coata.
- Se recomienda realizar investigaciones de concentraciones de flúor ya que usualmente va asociado al arsénico pentavalente y concentraciones en nitritos y nitratos ya que se observó la presencia de pozos sépticos y depósitos de estiércol cercanas a los pozos.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, Á., A. (2015). *Evaluación hidrogeoquímica e hidroquímica de la subcuenca del río Aranchacal* [Tesis de Maestría]. Universidad de El Salvador.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8237>
- APAZA, R. (2014). *CONTAMINACIÓN NATURAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS POR ARSÉNICO EN LA ZONA DE CARANCAS Y HUATA, PUNO*. Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation, 16(01).
<https://doi.org/10.18271/ria.2014.35>
- Alfaro, M., PE. (2005). *Fundamentos de hidrogeología*. Mundi-Prensa.
- Belizario, E., M. (2011). *Evaluación de la calidad de agua subterránea para fines de consumo humano de la comunidad Carata del distrito Coata* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Del Altiplano.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5422>
- Blanes, P. S. & Giménez, M. C. (2006). *Evaluación de los Niveles de Hierro y Arsénico en Aguas Naturales Subterráneas de la Región Centro-Oeste de la Provincia del Chaco - Argentina*. *Información tecnológica*, 17(3).
<https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000300002>
- Blas, E. G., V. (2016). *Evolución geoquímica de las aguas subterráneas en el valle del río Piura, subcuenca Chulucanas*. Congreso Peruano de Geología.
<http://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=46625>
- Biblioteca - Ingemmet Koha > Detalles para: *Hidrogeología*. (s. f.).
<https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16957>



Bocanegra, O. C., Bocanegra, E. C & Álvarez, A. A. (2002). *Arsénico en aguas subterráneas: su impacto en la salud*. Groundwater and Human Development, ISBN 987-544-063-9.

https://cofes.com.ar/descargas/info_sector/Arsenico/Bocanegra2_Alvarez_pdAs_Estudio_Bocanegra.pdf

BOSIO, M. G, S. (2020). *Contaminación Geogénica por Arsénico de las aguas subterráneas de Europa*. [Tesis de Maestría]. Universidad de Alcalá.

https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44116/TFM_Bosio_Silvestro_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calcina, M., B. & Apaza, R., C. (2019). *Evaluación Geoquímica del Arsénico en aguas subterráneas de la subcuenca del río Callacame, Desaguadero Puno*. Revista de Ciencias Naturales, 1(1).

Carrión, Z. B. L. (2022, 4 marzo). Repositorio Institucional INGEMMET: *Patrimonio geológico en la región Puno* - [Boletín I 11].

<http://revistas.unap.edu.pe/journal/index.php/RCCNN/article/view/248>

Chata, A., Q. (2015). *Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Río Coata 2015*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1930>

Coduto, D., Yeung, M. & Kitch, W. (2010). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices* (2nd ed.). Pearson.

Coila, F. J, Y. (2022). *Evaluación de la calidad del agua en la zona de confluencia de los ríos Torococha y Coata Caracoto-San Román - Puno*. [Tesis de grado].

Universidad Nacional Del Altiplano.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18608>



Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea* (Vol. 1). Barcelona: Omega.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea* (Vol. 2). Barcelona: Omega.

Delgado, T. M, R. & Zavala, P. C, S. (2021). *ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (ARSÉNICO, CADMIO, MERCURIO Y PLOMO) EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA*. [Tesis de grado]. Universidad María Auxiliadora.
<https://hdl.handle.net/20.500.12970/417>

Díaz, C., D., Esteller, M. V, A. & López, F., V. (2005). *Recursos Hídricos, Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Piriguazú Ediciones.
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/rh01/rh01.pdf>

Díaz, S. L. (2022). *Geoquímica del arsénico en sedimentos y suelos del sudoeste bonaerense y su incidencia en la contaminación natural de acuíferos freáticos*. [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional del Sur.
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/6048>

Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos. (2020). *Guía para realizar inventario de fuentes de agua subterránea*. Lima. Perú: ANA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/4495>

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3705>

Domenico, P. A. & Schwartz, F. A. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology*. Wiley.

Fernandez-Turiel, J. L. (2010, 25 agosto). *Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento* | DIGITAL.CSIC. <https://digital.csic.es/handle/10261/27257>



Fuentes, J. L. (1993). *Aguas Subterráneas*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

García, M., R. & Fernández, A. E., E. (2009). *Hidrogeología básica. Las aguas subterráneas y su flujo*. (3.a ed.).
https://www.academia.edu/2370891/Hidrogeolog%C3%ADa_b%C3%A1sica_Las_aguas_subterr%C3%A1neas_y_su_flujo

García, M. H. & Ruiz, L. F. (2001). *Presencia de arsénico de origen natural en las aguas subterráneas del acuífero detrítico del Terciario de Madrid*. Boletín geológico y minero, 113(2), 119-129.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=263781>

Grispan, D. (1985). *Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Las manifestaciones de la intoxicación arsenical por el agua de consumo*. Med.Cut. I.L.A., XIII, 85-109.

Guerrero, J. p., & Silva, J. A. (2019). *Contaminación de aguas subterráneas por arsénico y su grado de afectación sobre la población en América Latina y el Caribe*.
<https://docplayer.es/210362779-Contaminacion-de-aguas-subterranas-por-arsenico-y-su-grado-de-afectacion-sobre-la-poblacion-en-america-latina-y-el-caribe-una-revision.html>

Hídricos, A. N. D. A. D. D. G. D. C. D. L. R. (2018, 8 marzo). *Evaluación técnica de la identificación de fuentes de contaminación y monitoreo de la calidad del agua en las cuencas Coata, Illpa, Ilave y Laguna Pasto Grande*: Informe Técnico.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2052>

INFORME FINAL DEL ÁREA DE GEOLOGÍA REGIÓN PUNO | SIAR Puno | Sistema Regional de Información Ambiental. (s. f.).



<https://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/informe-final-area-geologia-region-puno>

Mariño, E. E & Garcia, R. F. (2018). *Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica*. (1.a ed., Vol. 1). ESCUELA DE POSTGRADO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA.

<https://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017, 7 junio). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. El Peruano, <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>.

Padrino de la Mata, A. B., Moreno, L., Garrindo, E., & Azcon, A. (2001). *Contenido en metales pesados de las aguas subterráneas en la ciudad de Zaragoza*. Instituto Geológico y Minero de España, 381-392.

Piper, A. M. (1944). *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*. *Transactions, American Geophysical Union*, 25(6), 914. <https://doi.org/10.1029/tr025i006p00914>

Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. (s. f.). Drupal. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>

Quispe, R. F. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados (Cromo, Cadmio y Plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata, 2017*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000200003



- Reglamento de la calidad del agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA. (s. f.). *Informes y publicaciones* - Ministerio de Salud - Gobierno del Perú.
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/321941-reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-d-s-n-031-2010-sa>
- Sampieri, H. & Torres, C. P. M. (2018). *Metodología De La Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1a ed.). McGraw-Hill.
- Saa, R. S. (2008). El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *Ciencia UANL*, 12(3), 239-244. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3011977.pdf>
- Snoeyink, V. L., & Jenkins, D. (2004). *Química del Agua*. Edición Limusa.
- Terrones, C. T. de. (2019, 9 julio). *Determinación de la concentración de Arsénico (As) total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8865>



ANEXOS

ANEXO A; Fichas Inventario de Fuentes

ANEXO B; Registro de Sondajes de Reconocimiento

ANEXO C; Fichas de Muestreo y Cadena Custodio

ANEXO D; Datos Hidroquímicos

ANEXO E; Reportes de Laboratorio

ANEXO F; Panel Fotográfico

ANEXO G; Planos



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Diego Alex Cahuya Mamani
, identificado con DNI 73494953 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA E HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
DE LA COMUNIDAD DE CARATA DEL DISTRITO DE COATA, PUNO-2021"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Abril del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Diego Alex Cahuaya Mamani
identificado con DNI 73494953 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

DE LA COMUNIDAD DE CARATA DEL DISTRITO DE COATA, PUNO - 2021

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de abril del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella