



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA
DE POZOS ARTESIANOS EN LOS ASENTAMIENTOS DE
LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE MORONA, CANTÓN
TIWINTZA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: AMANDA PAMELA PAZATO QUEZADA

DIRECTOR: Ing. PATRICIO VLADIMIR MÉNDEZ ZAMBRANO

Macas – Ecuador

2022

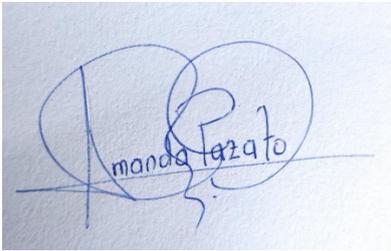
©2022, Amanda Pamela Pazato Quezada

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, AMANDA PAMELA PAZATO QUEZADA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 09 de diciembre de 2022

A handwritten signature in blue ink on a light blue background. The signature is stylized and includes the name 'amanda pazato' written in lowercase letters across the middle of the signature.

Amanda Pamela Pazato Quezada
140064274-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE POZOS ARTESIANOS EN LOS ASENTAMIENTOS DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE MORONA, CANTÓN TIWINTZA**, realizado por la señorita, **AMANDA PAMELA PAZATO QUEZADA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales< en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. William Estuardo Carrillo Barahona Mg. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022 – 12 – 09
Ing. Patricio Vladimir Méndez Zambrano Mg. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022 – 12 – 09
Ing. Jessica Paola Arcos Logroño MCs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022 – 12 – 09

DEDICATORIA

A Dios que me ha permitido llegar hasta aquí, a mis padres por su apoyo incondicional y a mi hija Zoé Doménica que ha sido mi inspiración durante todo este proceso.

Pamela

AGRADECIMIENTO

A mis padres y toda familia por su inmenso apoyo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Macas y docentes que supieron llegar con conocimientos para forjar y enriquecer esta bella profesión, agradezco también a mi tutor el Ing. Patricio Méndez por guiarme en la elaboración de esta investigación como trabajo de titulación.

Pamela

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.3.	Problema general de investigación.....	4
1.4.	Problemas específicos de investigación.....	4
1.5.	Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6.	Justificación.....	4
1.6.1.	<i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2.	<i>Justificación práctica</i>	5
1.7.	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes.....	6
2.2.	Bases conceptuales.....	8
2.2.1.	<i>Agua subterránea</i>	8
2.2.2.	<i>Calidad del agua</i>	8
2.2.3.	<i>Índice de calidad del agua</i>	8
2.2.4.	<i>Acuíferos</i>	8
2.2.5.	<i>Porosidad</i>	9
2.2.6.	<i>Formaciones geológicas</i>	9

2.2.7.	<i>Pozos</i>	9
2.2.8.	<i>Pozo Artesiano</i>	9
2.2.9.	<i>Contaminación del agua subterránea</i>	9
2.3.	Bases teóricas	10
2.3.1.	<i>Agua Subterránea</i>	10
2.3.1.1.	<i>Factores del movimiento de agua subterránea</i>	10
2.3.2.	<i>Calidad y clasificación del agua subterránea según su uso</i>	10
2.3.3.	<i>Características del índice de calidad del agua</i>	10
2.3.3.1.	<i>Temperatura</i>	11
2.3.3.2.	<i>Oxígeno disuelto</i>	11
2.3.3.3.	<i>pH</i>	11
2.3.3.4.	<i>DBO</i>	11
2.3.3.5.	<i>Fosfatos</i>	11
2.3.3.6.	<i>Nitratos</i>	12
2.3.3.7.	<i>Coliformes fecales</i>	12
2.3.3.8.	<i>Turbidez</i>	12
2.3.3.9.	<i>Sólidos disueltos totales (TDS)</i>	13
2.3.4.	<i>Acuíferos</i>	13
2.3.4.1.	<i>Características de los acuíferos</i>	13
2.3.4.2.	<i>Tipos de Acuíferos</i>	13
2.3.5.	Captación de aguas subterráneas	14
2.3.5.1.	<i>Pozos verticales</i>	14
2.3.5.2.	<i>Métodos de perforación</i>	15
2.3.6.	Fuentes de Contaminación de agua subterránea	16
2.3.6.1.	<i>Origen geológico</i>	16
2.3.6.2.	<i>Contaminación por actividades domésticas y urbanas</i>	17
2.3.6.3.	<i>Contaminación por actividades agrícolas y ganaderas</i>	17
2.3.6.4.	<i>Contaminación por actividades industriales y mineras</i>	19
2.3.6.5.	<i>Contaminación por intrusión marina</i>	19
2.3.7.	Manejo de aguas contaminadas	19
2.3.7.1.	<i>Prevención</i>	20
2.3.7.2.	<i>Tratamiento de aguas contaminadas</i>	20
2.4.	Bases legales	22
2.4.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	22
2.4.2.	<i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	22
2.4.3.	<i>Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental</i>	22
2.4.4.	<i>Norma técnica ecuatoriana 1108</i>	23

2.4.5.	<i>Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua</i>	25
--------	--	----

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1.	Enfoque de investigación	26
3.2.	Nivel de investigación	26
3.3.	Diseño de investigación	26
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	26
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	26
3.4.	Tipo de estudio	27
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	27
3.5.1.	<i>Localización del Proyecto</i>	27
3.5.1.1.	<i>Sitio de estudio y puntos de monitoreo</i>	28
3.5.2.	<i>Selección de los puntos de monitoreo</i>	29
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	29
3.6.1.	<i>Método de muestreo</i>	29
3.6.2.	<i>Manejo y conservación de las muestras</i>	30
3.6.3.	<i>Materiales y equipos para el muestreo y análisis in situ</i>	30
3.6.4.	<i>Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas</i>	31
3.6.5.	<i>Análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos</i>	32
3.6.6.	<i>Determinación del Índice de Calidad de Agua de la NSF</i>	33
3.6.7.	<i>Parámetros del ICA-NSF</i>	33
3.6.8.	<i>Formulación y cálculo del índice NSF</i>	33
3.6.9.	<i>Análisis Estadístico</i>	34

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	35
4.1.	Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del ICA-NSF	35
4.1.1.	<i>Oxígeno disuelto (O.D.)</i>	35
4.1.2.	<i>Cambio de temperatura (ΔT)</i>	36
4.1.3.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	37
4.1.4.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i>	38
4.1.5.	<i>Sólidos disueltos totales (TDS)</i>	39
4.1.6.	<i>Turbidez</i>	40

4.1.7.	<i>Nitratos</i>	41
4.1.8.	<i>Fosfatos</i>	42
4.1.9.	<i>Coliformes fecales</i>	43
4.2.	Comparación de resultados con la NTE INEN 1108	44
4.3.	Resultados del ICA-NSF	45

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	47
5.1.	Propuesta de un Plan de Manejo de las Aguas Subterráneas	47

CAPÍTULO IV

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
6.1.	Conclusiones	50
6.2.	Recomendaciones	51

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación de los diferentes métodos de perforación.....	15
Tabla 2-2:	Características físicas, sustancias orgánicas y radioactivas.....	23
Tabla 3-2:	Requisitos Microbiológicos del agua para consumo humano	24
Tabla 4-2:	Plaguicidas.....	24
Tabla 1-3:	Coordenadas de los puntos de monitoreo	29
Tabla 2-3:	Materiales y equipos utilizados en campo.....	30
Tabla 3-3:	Metodología y toma de muestras físicoquímicos y microbiológicas.....	31
Tabla 4-3:	Análisis de parámetros físicoquímicos y microbiológicos de la NSF	32
Tabla 5-3:	Parámetros del Índice WQI de la NSF	33
Tabla 6-3:	Rangos para la calidad del agua mediante el índice WQI de la NSF	34
Tabla.1-4:	Comparación de resultados, Acuerdo Ministerial 097, NTE INEN 1108 y Reglamento del Ministerio de Salud Pública de Perú.....	44
Tabla 2-4:	Resultados del ICA-NSF de los tres pozos artesianos.....	45
Tabla 1-5:	Propuesta de Prevención y Mitigación de Impactos.....	47
Tabla 2-5:	Propuesta de Monitoreo Ambiental del Agua	48
Tabla 3-5:	Propuesta de Educación Ambiental para las comunidades.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Contaminación de aguas subterráneas de origen urbano y perirurbano.....	17
Ilustración 2-2:	Contaminación de aguas subterráneas de origen agrícola.....	18
Ilustración 3-2:	Contaminación de aguas subterráneas por el vertido de residuos líquidos industriales	19
Ilustración 1-3:	Localización de las Estaciones de Muestreo.....	28
Ilustración 1-4:	Variación del oxígeno disuelto	35
Ilustración 2-4:	Variación del cambio de temperatura	36
Ilustración 3-4:	Variación de pH.....	37
Ilustración 4-4:	Variación de la DBO ₅	38
Ilustración 5-4:	Variación de TDS	39
Ilustración 6-4:	Variación de la turbidez.....	40
Ilustración 7-4:	Variación de la concentración de nitratos	41
Ilustración 8-4:	Variación de la concentración de fosfatos	42
Ilustración 9-4:	Variación de coliformes fecales.....	43
Ilustración 10-4:	Zonificación de la calidad de agua de los pozos artesianos.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS IN SITU

ANEXO B: EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA TOMA DE MUESTRAS

ANEXO C: RESULTADOS DEL SOFTWARE IQADATA

ANEXO D: PROFORMA Y RESULTADOS DEL LABORATORIO

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de pozos artesianos ubicados en tres comunidades de la parroquia San José de Morona, cantón Tiwintza; se recolectó una muestra de cada pozo en el mes de junio, mismas que posteriormente fueron analizadas según parámetros físicoquímicos y microbiológicos según el Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF con nueve parámetros de valoración: oxígeno disuelto (% Sat O.D.), cambio de temperatura, pH, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), turbidez, sólidos totales disueltos (SDT) y coliformes fecales. Se utilizó el software IQA Data para evaluar la calidad del agua cuyos resultados son; PT-1= 68,37; PT-2= 61,40 y PT-3= 62,83, dando como resultado calidad de agua regular en todos los puntos, y los parámetros que influenciaron en los tres pozos fueron los nitratos, coliformes fecales y pH, los mismos que son alterados por actividades antropogénicas y de manera natural. Concluyendo que el agua de los pozos artesianos es apta para consumo humano y uso doméstico posterior a un tratamiento convencional. Se recomienda a los moradores de las comunidades las buenas prácticas agrícolas y ganaderas con el fin de proteger las fuentes hídricas.

Palabras clave: <CALIDAD DE AGUA>, <COLIFORMES FECALES>, <AGUA SUBTERRÁNEA>, <POZOS ARTESIANOS>, <SAN JOSÉ DE MORONA (PARROQUIA)>.



2469-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The main objective of the current research work was to evaluate the water quality of artesian wells located in three communities of the “parroquia San José de Morona”, Tiwintza County. A sample was collected from each well during June that were subsequently analyzed according to physicochemical and microbiological parameters according to the NSF Water Quality Index (WQI) including nine assessment parameters such as: dissolved oxygen (% Sat O.D.), temperature change, pH, nitrates, phosphates, biochemical oxygen demand (BOD5), turbidity, total dissolved solids (TDS) and fecal coliforms. It used the IQA Data software in order to evaluate water quality. The obtained results are: PT-1= 68.37; PT-2= 61.40 and PT-3= 62.83, resulting in regular water quality at all points, and the parameters that influenced the three wells were nitrates, fecal coliforms and pH which are altered by anthropogenic activities and naturally. It concludes saying that the water from the artesian wells is suitable for human consumption and domestic use after conventional treatment. Finally, it is recommended that the inhabitants of the communities use good agricultural and livestock practices to protect the water sources.

Key words: <WATER QUALITY>, <FECAL COLIFORMS>, <GROUNDWATER>, <ARTESIAN WELLS>, <SAN JOSE DE MORONA (PARROQUIA)>.



By: Mauricio Martínez P.

0602902504

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso natural para el suministro de agua potable en zonas urbanas y rurales, dando bienestar al ser humano y muchos ecosistemas acuáticos (Foster et al., 2003, p. 48). Este líquido vital se encuentra cuantitativamente en mayor cantidad que el agua superficial y representa un 98% del agua dulce como fuente de abastecimiento (Cerón et al., 2021, p. 48). A nivel mundial, un 70% del agua subterránea es utilizada para la agricultura, seguida de un 25% para abastecimiento humano y un 5% para la industria, esta agua al encontrarse en el subsuelo es difícil detectar su contaminación en comparación de las aguas superficiales (Caraballo y Montaña 2012, pp. 34-66), por lo que se requiere de un exhaustivo programa de monitoreo, de tal manera de garantizar su calidad, dado que el 50% de la población mundial dependen exclusivamente del agua subterránea para satisfacer sus necesidades básicas (Mukherjee & Singh 2022, p. 1).

Las aguas superficiales y las aguas subterráneas tienen una estrecha relación ya que el agua subterránea surge a los manantiales para continuar con el recorrido superficial, mientras que el agua superficial se infiltra en el subsuelo llegando a formar agua subterránea (Fuentes 2017, p. 2). A pesar de su importancia, el uso del agua subterránea está limitada por su alta vulnerabilidad debido a las actividades antropogénicas las cuales pueden alterar sus caracteres físicoquímicos y biológicos siendo no apta para las diferentes actividades domésticas (Castillo, Barrezueta & Arbito, 2019, p. 64).

Las fuentes de contaminación del agua subterránea son las industrias, hogares y granjas; en las zonas agrícolas el agua subterránea poco profunda es más propensa a ser contaminada con nutrientes, en países netamente agrícola como el Ecuador, la contaminación de los recursos hídricos se debe al excesivo uso de fertilizantes y agroquímicos en las diferentes actividades agrícolas y al crecimiento demográfico que a su vez genera las aguas residuales, las cuales y sin un previo tratamiento, debido a la escasez de agua para riego son usados en la irrigación de predios agrícolas, lo que contribuye a la propagación y dispersión de los contaminantes, lo que ocurre a través de los procesos de escorrentía, lixiviación y filtración de residuos provenientes de las actividades humanas (Bolaños, Cordero & Segura, 2017, pp. 17-26). Este problema es fundamentalmente grave en regiones como América del Sur donde a pesar de contar mayor reposición de agua en el mundo debido al aporte de la Cuenca Amazónica, la falta de responsabilidad y el mal manejo de las aguas ha generado el deterioro de la calidad de este vital líquido (Alida & Agnelli, 2018, p. 10).

Realizar una evaluación del agua a través de análisis de variables físicas, químicas y microbiológicas es reconocido como una herramienta que permite conocer su estado de

contaminación (Fontalvo & Tamaris, 2018, p. 101), así como también comprender las características del recurso hídrico para garantizar a las poblaciones agua de calidad y reducir amenazas contra la salud humana, las fuentes potenciales de agua deben ser evaluadas y tratadas para asegurar su potabilidad (Pacheco, Cabrera & Ceballos, 2003, pp. 165-166).

Para mitigar los problemas de contaminación se debe identificar los focos de contaminación, de modo de establecer las alternativas de manejo que reduzcan la emisión de agentes contaminantes, así como su purificación, para ello es necesario que se realice una evaluación del nivel contaminación de las aguas subterráneas, lo cual determinará la calidad de las mismas, la naturaleza del agente contaminante y las posibles causas, lo que permitirá establecer la línea base para la toma de decisiones. Es por ello que el propósito de este proyecto es evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterráneas que es aprovechada para uso doméstico en las diferentes comunidades. Realizar este estudio es de vital importancia ya que los resultados ayudarán al mejoramiento de agua potable garantizando a la población el consumo de agua de buena calidad.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel mundial, las actividades antropogénicas han ido alterando los recursos naturales y como consecuencia la afectación a nivel de salud siendo un riesgo para los habitantes. El crecimiento de la población ha generado el aumento de la demanda de agua y consigo su uso en la ganadería, la agricultura y las actividades manufactureras que causan la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Piguave et al., 2019, p. 154).

En el Ecuador la región Sierra presenta una cobertura de agua segura mayor al promedio nacional de un 75,7%; mientras que la región Costa presenta una cobertura de un 68,1% de agua segura, y la Amazonía es la región con menor cobertura de agua segura con un 42,5%, esto quiere decir que el agua de la Amazonía no tiene una buena calidad, a pesar de estar enmarcada dentro de la cuenca hidrográfica más importante del mundo (Molina, Pozo & Serrano, 2018, p. 25). Por otro lado la provincia de Morona Santiago presenta mayores problemas de enfermedades asociadas a la falta de agua salubre y malas condiciones de saneamiento (Ministerio de Salud Pública del Ecuador 2020, p. 1). Debido a lo antes expuesto es importante valorar la calidad de agua para consumo humano aplicando los tratamientos adecuados para el mejoramiento y protección de la salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2019, p. 151)

En la parroquia San José de Morona el uso de agua subterránea es una alternativa de aprovechamiento en las comunidades lejanas del centro parroquial que carecen de agua potable y demás servicios básicos, sin embargo estas aguas presentan patógenos, lo que trae como consecuencia problemas de salud con síntomas de diarrea aguda, parasitosis intestinal y otras patologías (Altamirano, 2015, p. 40)

1.2. Limitaciones y delimitaciones

En la presente investigación la falta de recursos económicos y tiempo ha sido una de las limitaciones para poder realizar los muestro necesarios y por ende el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Además, la situación que atravesó el país por el paro nacional no ha permitido cumplir con el trabajo de campo y análisis de laboratorio en las fechas establecidas.

1.3. Problema general de investigación

¿Cuál es la calidad del agua de los pozos artesianos de los asentamientos de la parroquia San José de Morona?

1.4. Problemas específicos de investigación

¿Cuáles son los valores del ICA-NSF de los pozos artesianos ubicados en la parroquia San José de Morona?

¿Cómo afecta la presencia de coliformes fecales a la calidad del agua en los pozos artesianos de la parroquia San José de Morona?

¿Cuál es la relación que tiene la zonificación de la calidad el agua en base a los resultados del ICA-NSF?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la calidad de agua subterránea de pozos artesianos en los asentamientos de la parroquia San José de Morona, Cantón Tiwintza.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Calcular los valores del Índice de Calidad de Agua de los pozos en los asentamientos de la parroquia San José de Morona.
- Determinar la presencia y grado de contaminación de coliformes fecales provenientes de pozos sépticos.
- Zonificar la calidad del agua subterránea basado en los resultados del ICA-NSF.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

El presente trabajo de investigación es importante para obtener una línea base de la calidad de agua subterránea, donde se toma en cuenta parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Este estudio realizado por primera vez en este sitio facilita datos importantes que caracterizan a los pozos artesianos de la parroquia San José de Morona perteneciente al cantón Tiwintza.

1.6.2. Justificación práctica

La principal actividad económica de la parroquia San José de Morona es la agricultura y ganadería labor que causa impactos negativos al ambiente y a la salud de los seres vivos, es por ello que esta investigación se realiza con el propósito de dar a conocer el estado de las aguas subterráneas de tres comunidades y comprender la dinámica de los contaminantes en el subsuelo a una determinada profundidad. Además, es importante recomendar buenas prácticas de manejo en la agricultura, así como también el uso adecuado de agroquímicos. El resultado de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos son indispensables antes de la distribución de agua potable a la población, los mismos que darán a conocer si es necesario un tratamiento previo.

1.7. Hipótesis

En la parroquia San José de Morona existe alteraciones en cuanto a la calidad del agua subterránea de pozos artesianos empleada para consumo humano y uso doméstico, debido a las actividades antropogénicas que se realizan cerca del sector.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El artículo 57 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua señala que el disponer agua limpia es un derecho fundamental e irrenunciable de todas las personas, la misma que tiene que ser salubre, accesible, suficiente y asequible para el aprovechamiento personal y doméstico en cuanto a cantidad, calidad, continuidad y cobertura (Asamblea Nacional del Ecuador, 2015, p. 15).

Desde la antigüedad las aguas subterráneas han sido aprovechadas para el abastecimiento de muchas poblaciones especialmente en zonas áridas y semiáridas, esto ha generado el mejoramiento de técnicas de extracción (Sahuquillo, 2009, pp. 97-99). Cerca del 70% del agua extraída del subsuelo en todo el mundo se utiliza para sostener el riego, y es importante para la seguridad alimentaria de muchos países, ya que es indispensable para mantener la producción agrícola cuando los cultivos presentan problemas de sequías (Pedrozo, 2021, p. 1). En América del Norte y América del Sur el incremento de la población ha generado una gran demanda de los recursos hídricos y con ello la contaminación proveniente de diversas actividades industriales y agrícolas (Alida & Agnelli, 2018, p. 108)

Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua subterráneas presenta la evidencia más certera, las cuales se puede determinar su relación con las condiciones naturales (topográficas, climáticas, geológicas, biológicas) o antropogénicas (uso del suelo, contaminación local) (Cerón et al., 2021, p. 52).

Algunos estudios realizados a nivel nacional e internacional se indican a continuación:

En el 2019 se realizó un estudio del Índice de Calidad de Agua de tres pozos artesianos en la comunidad Nativa Pueblo Nuevo, Perú donde se hizo el análisis mediante el índice de calidad del Agua (ICA) de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos que utiliza nueve parámetros de valoración, pH, sólidos totales disueltos (STD), cambio de temperatura, coliformes fecales (CF), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitratos (NO₃-N), fosfatos, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (% Sat O.D.) y las unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Como resultado de la valoración fue la siguiente: fosfatos (4.44 mg/L), porcentaje de saturación de O.D. (76.38 % sat) y al alto contenido de coliformes fecales (27.5 NMP/100 ml), estos parámetros no estuvieron dentro de los límites permisibles establecidos para consumo de esta

agua, los demás parámetros analizados estuvieron dentro de los estándares contemplados, calculando los resultados del ICA-NSF presentaron un rango de 26 – 50 que es de color naranja con un valor de 31.95, la cual nos indica como de Mala Calidad (Santa Cruz, 2013, p. 1).

En el año 2018 en la ciudad de Juliaca se realizó un estudio de agua subterránea para determinar la calidad de agua de pozos artesianos de la ciudad, analizando características fisicoquímicas y microbiológicas de diez pozos. Los resultados fueron comparados con el reglamento de calidad para abastecimiento humano, conociendo los resultados se determinó que ninguno de los pozos artesianos contienen agua apta para consumo humano, existe alto contenido de materia fecal que llega a 240 Colif./100 ML, la dureza a 1128 mg/L, alta cantidad de sulfatos de 338.40 mg/L, y finalmente la elevada presencia de cloruros de 511.84 mg/L lo que indica un riesgo ambiental medio (Tacuri, 2019, p. 1).

Un estudio realizado en Quevedo, Los Ríos, Ecuador con el objetivo de evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano se determinaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en dos épocas del año, concluyen que los parámetros: nitritos, nitratos, turbidez, sólidos disueltos totales, pH, dureza total, color y hierro, se encuentran en el rango de aceptabilidad de calidad ambiental, mientras que los valores, manganeso, oxígeno disuelto y coliformes fecales sobrepasan los límites máximos permisibles, por lo cual los investigadores concluyen que el agua del cantón Quevedo está levemente contaminada y requiere tratamiento de potabilización previo a su consumo (Baque et al., 2016, p. 109).

Otro estudio realizado para determina el índice de calidad del agua del río Copueno, cantón Morona provincia de Morona Santiago, determino que la calidad del agua del río es afectada por la descarga de agua residuales a lo largo de su cauce, encontrándose valores de sólidos disueltos totales de 2531 ppm, de DBO por encima de los 100 mg /L, y 2531 UFC/100 ml de bacterias coliformes, lo que refleja el grado de contaminación antrópica debido principalmente a las descargas existentes, a los procesos erosivos y a la reducción de los niveles de agua (Méndez, Arcos & Cazorla, 2020, p. 735).

Desde el punto de vista de Altamirano (2015, p. 117) argumenta que; La Parroquia San José de Morona “no dispone de agua segura para beber ya que el 42% de la población tiene agua de río, vertiente, acequia o canal, seguido de un 38% que bebe el agua de pozo y un restante de 6% de agua lluvia”.

La evaluación de la calidad del agua es rápida y representativa que garantiza una evaluación integral del recurso, principalmente en la toma de acciones para el manejo y control del riesgo sanitario a través de los diferentes procesos de potabilización (Torres et al., 2010, p. 86).

2.2. Bases conceptuales

2.2.1. *Agua subterránea*

Es aquella agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser recolectada por medio de perforaciones, túneles o galerías de drenaje o lo que fluye naturalmente a la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Ordóñez, 2011, p. 9).

2.2.2. *Calidad del agua*

La calidad está definida por sus características fisicoquímicas y biológicas de acuerdo con el uso o actividad que se destina (Sánchez Ramos, 2014). Desde la posición de Arizabalo y Díaz (2017, p. 12) la calidad del agua se define por la concentración de sus constituyentes químicos los mismos que determinan sus diversos usos.

2.2.3. *Índice de calidad del agua*

El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Un valor de ICA cercano o igual a 100% indica un agua en excelentes condiciones (Castro et al., 2014, p. 114). Por otro lado la Fundación de Sanidad (2013, p.2) menciona que es la aptitud del agua respecto a los usos prioritarios que se destine.

2.2.4. *Acuíferos*

Son formaciones geológicas que albergan y circula agua en cantidades considerables que pueden ser extraídas a través de sistemas de captación (Collazo & Montaña, 2012, p. 20). Según Arizabalo y Díaz (2017, p. 9) indica que los acuíferos poseen la permeabilidad adecuada, es decir, porosidad y fracturamiento.

2.2.5. Porosidad

Se refiere al porcentaje del volumen total de un suelo o roca que está ocupado por poros, los cuales estarán rellenos de agua cuando el material este saturado, o de aire y agua si no lo está (Yepes, 2022, p. 1).

2.2.6. Formaciones geológicas

La formación geológica que transmiten agua muy lentamente se conoce como Acuitardo, por sus características especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, por ejemplo, los estratos de arcillas limosas o arenosas. En cambio, el Acuicludo es una formación geológica que, aun conteniendo agua, inclusive a saturación, no la transmite por lo que hace imposible su explotación, caso de terrenos arcillosos (Yepes, 2022, p. 1).

2.2.7. Pozos

El pozo ordinario es una captación con diámetro superior a un metro, se puede definir como agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra hasta una profundidad suficiente para llegar a aprovechar el agua (Ordóñez, 2011, p. 12).

2.2.8. Pozo Artesiano

Es un orificio cavado en un acuífero con un tubo y una bamba que se utilizan para sacar agua del subsuelo (Sotomayor et al., 2013, p. 6).

2.2.9. Contaminación del agua subterránea

Es un fenómeno que afecta solo al acuífero superior y ocurre generalmente en un área menor de 1.5 km de largo y 0.5 km, donde los contaminantes se mueven en un intervalo aproximado de menos de 0.3 m al día (Arizabalo & Díaz 2017, p. 12). Por otra parte, (Fuentes, 2017, p. 22) menciona que la contaminación del agua subterránea consiste en la alteración en cuanto a su calidad haciendo no apta para su aprovechamiento.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Agua Subterránea

2.3.1.1. Factores del movimiento de agua subterránea

- *Porosidad*: alude a la cantidad de espacios vacíos dentro de la masa rocosa.
- *Permeabilidad*: alude a la capacidad que tiene un material de permitir que se establezca un flujo de agua subterránea.
- *Filtración*: proceso natural en el cual el agua superficial se filtra gradualmente a través del suelo hacia los acuíferos y varía, según la naturaleza del suelo, la vegetación y la estación (Ordóñez, 2011, p. 25).

2.3.2. Calidad y clasificación del agua subterránea según su uso

La calidad del agua está definida por su composición y por el conocimiento de los efectos que puede causar, el conjunto de todos los elementos permite establecer patrones de calidad de agua, clasificándoles de acuerdo a los límites establecidos y depende al uso (humano, industrial, agrícola) (Collazo & Montaña, 2012, p. 30-32).

- Agua subterránea destinada al abastecimiento humano.
- Agua subterránea destinada al riego.
- Agua subterránea destinada al abrevadero de ganado.
- Agua subterránea destinada a la industria.

2.3.3. Características del índice de calidad del agua

Los parámetros mayormente empleados en el ICA son el oxígeno disuelto y el pH, seguido por la DBO, los nitratos, los coliformes fecales, la temperatura, la turbiedad y los sólidos disueltos totales (Torres et al., 2010, p. 88). Permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo. Incorpora datos de múltiples parámetros fisicoquímicos y biológicos. Por medio de una ecuación matemática se conoce el estado de un cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008, p. 342).

El ICA es una herramienta fundamental usada para dar a conocer el estado del recurso hídrico a las autoridades y público en general. La calidad del agua se clasifica en no apta en función del valor ICA, muy pobre, pobre, buena y excelente (Castro et al., 2014, p. 114).

2.3.3.1. Temperatura

Esta característica es variable y el valor corresponde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, en la parte subterránea el valor varía según el gradiente geotérmico que acrecienta 1° cada treinta metros de profundidad (Collazo & Montaña, 2012, p. 26).

2.3.3.2. Oxígeno disuelto

Se refiere a la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua, el cual es fundamental para la vida; es por ello que es un indicador del grado de contaminación del agua y de su capacidad de dar soporte a la vida vegetal y animal. Existen factores como la salinidad, la temperatura o la altitud que pueden modificar este valor, por ejemplo, el agua dulce tiene más oxígeno que la salada (Posada et al., 2013, p. 194).

2.3.3.3. pH

Es el potencial de hidrógeno que tiene una escala de 0 a 14, siendo el valor del 7 neutro, es importante determinar su valor para conocer la calidad del agua, cuyo indicador de la concentración de iones hidrógeno, y nos indica su acidez o alcalinidad (Mamani et al., 2018, p. 37). Los parámetros establecidos del pH son de 6,5 a 8,0 según la Organización Mundial de la Salud (2019, p. 266)

2.3.3.4. DBO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno o DBO como se le conoce es una medida empírica del oxígeno requerido por la bacteria para descomponer la materia orgánica, es utilizada para medir el grado de contaminación del agua, siendo su principal desventaja es el tiempo de obtención de resultados en aproximadamente 5 días (Menéndez & Pérez, 2015, p. 3). Los valores más frecuentes en las aguas subterráneas suelen ser de 1 a 5 mg/l de O₂ y resultados superiores a 1 ppm de O₂ significa que existe contaminación (Collazo & Montaña, 2012, p. 27).

2.3.3.5. Fosfatos

La presencia de fosfatos se debe al uso de abonos inorgánicos con fosfatos solubles y a los vertidos urbanos que contienen detergentes, la alta solubilidad provoca que sean llevados por aguas de las lluvias y riego hacia los acuíferos (Bolaños, Cordero & Segura, 2017, pp. 23-24).

2.3.3.6. Nitratos

Son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral, por lo cual grandes cantidades de este mineral permanecen disueltos en el agua, constituyendo un alto riesgo (Pacheco & Cabrera, 2003, p. 47).

La contaminación por nitratos se convertido en una de las principales causas de contaminación del agua en zonas urbanas y rurales, generalmente la contaminación por nitratos en Uruguay es de manera puntual pero cuando el uso de fertilizantes es de mayor cantidad en grandes extensiones esta contaminación se convierte en difusa (Collazo & Montaña, 2012, p. 34).

2.3.3.7. Coliformes fecales

Las bacterias coliformes fecales son la familia de coliformes que están presentes específicamente en el intestino y por lo tanto pasan a las heces de los animales de sangre caliente, siendo la *Escherichia coli* la principal especie del grupo. Si su análisis de agua resulta positivo a Coliforme Total pero negativo a *E.coli*, no hay un riesgo inmediato en la salud pero es necesario hacer una investigación adicional porque si existe una bacteria Coliforme Total en el pozo de agua, bacterias más peligrosas pueden estar presentes también (Bauder & Sigler, 2012, p. 1).

2.3.3.8. Turbidez

Es una propiedad óptica que se mide a través de la cantidad de luz que es dispersada y absorbida por las partículas que se encuentran en una columna de agua, la cual proporciona características físicas que son captadas por sensores a través de la radiación reflejada por distintas longitudes de onda (Martínez et al., 2020, p. 17).

La turbidez del agua se ve afectada por la descarga de residuos líquidos, neutralización de drenajes, crecimiento de algas fotosintéticas y también por procesos naturales como la erosión del suelo, es posible que estos factores indiquen el deterioro de la calidad del agua (Pastén et al., 2018, p. 194). Los sólidos en suspensión que dificultan el paso de la luz pueden ser; arcillas, limos, materia orgánica, etc. (Collazo & Montaña, 2012, p. 26).

2.3.3.9. *Sólidos disueltos totales (TDS)*

Es una medida de la materia que se encuentra en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones (2 millonésimas de un metro) la cual no se puede remover con un filtro tradicional. Los TDS es la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (Bauder & Sigler, 2014, p. 23).

2.3.4. *Acuíferos*

2.3.4.1. *Características de los acuíferos*

Un acuífero se comporta como un embalse, en donde se considera: un caudal de entrada, un caudal de salida y una capacidad de almacenamiento y regulación, la capacidad de almacenamiento viene dada por su volumen (extensión y espesor), fisuración y porosidad (Fuentes, 2017, p. 6). La cualidad de los acuíferos de contener agua, está guiada por varios factores (Ordoñez, 2011, p. 13).

- *Porosidad (n)* Las rocas no son totalmente sólidas, y al conjunto de estas aberturas o intersticios se denomina porosidad (Ordoñez, 2011, p. 13).
- *Permeabilidad (K)* Propiedad de las rocas de tolerar o no el flujo de agua; es decir, un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si las zonas vacías no se interconectan, el agua no transita (Ordoñez, 2011, p. 14).
- *Transmisibilidad o Transmisividad (T)* Medida de la capacidad de un acuífero para llevar agua o transmitir agua, determinándose como la cantidad de volumen que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de un acuífero (Arocha citado en Ordoñez, 2011, p. 16).
- *Coficiente de almacenamiento (S)* Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad del nivel piezométrico (Ordoñez, 2011, p. 17).

2.3.4.2. *Tipos de Acuíferos*

Se clasifica según los materiales que lo constituyen y según el grado de presión (Fuentes, 2017, p. 6).

Según los materiales constituyentes

- *Acuíferos porosos*; son de materiales flojos como la arena y grava, permitiendo que el agua circule con facilidad por los espacios que existe en las partículas sólidas (Fuentes, 2017, p. 7).
- *Acuíferos fisurados*; Generalmente están constituidas por rocas consolidadas, el agua circula por las grietas y fisuras de las mismas. La rocas de dolomitas y calizas son solubles al agua bajo determinadas condiciones por lo cual tienden a formar fisuras más grandes, a este

anomalía tiene el nombre de karstificación (Fuentes, 2017, p. 7).

- Acuíferos porosos y fisurados; Tipo de roca intermedia entre las consolidadas y no consolidadas que son de materiales sueltos como las areniscas y los conglomerados (Fuentes, 2017, p. 8).

Según el grado de presión

- Acuíferos libres, no confinados o freáticos; su presión es la misma que la presión atmosférica al encontrarse al mismo nivel, este tipo de acuíferos son los más afectados en tiempos de verano ya que el nivel freático interactúa directamente con los cambios climáticos y se recargan de forma directa por infiltración aprovechando el agua de la lluvia (Collazo & Montaña, 2012, p. 20).
- Acuíferos confinados, cautivos o a presión; en la parte superior tienen baja o muy baja permeabilidad y la presión hidrostática es mayor que la atmosférica. Si al realiza una perforación y el agua alcanza la superficie el pozo se llama surgente (Collazo & Montaña, 2012, p. 20).
- Acuíferos semiconfinados o semi cautivos; son más frecuentes en la naturaleza y el techo o piso está limitado por la baja permeabilidad que hace difícil la circulación vertical del agua desde el acuífero hacia el exterior o viceversa (Collazo & Montaña, 2012, p. 21).

2.3.5. Captación de aguas subterráneas

2.3.5.1. Pozos verticales

Son de diámetros grandes, en su mayoría mayor a 1 metro, construidos de manera manual o ligeramente mecanizada. Es posible dragar hasta llegar el nivel freático (Collazo & Montaña, 2012, p. 36).

- *Pozos excavados:* Consisten en excavar el terreno con ayuda de un pico y una pala, es una técnica sencilla y antigua. También es la más extenuante, aunque resulta menos costosa. Requiere que el suelo esté relativamente blando y que la capa freática poco profunda (Maradiaga et al., 2015, p. 10).
- *Perforados o tubulares:* Este tipo de pozos con los más utilizados para la captación de agua subterránea y son comúnmente conocidos como pozos semi surgentes, por lo general tienen un diámetro de 6 a 12 pulgadas y para su perforación se utiliza maquinas (Collazo y Montaña 2012, p. 36). Para realizar este tipo de pozos se emplea tres métodos que son; percusión, rotación y rotopercusión (Fuentes, 2017, p. 15).

- *Pozos artesianos*: Son perforaciones cuyo diámetro suele ser de 3 a 10 pulgadas pero generalmente tienen un diámetro de 4 y 6 pulgadas cuyo hoyo se hace con máquinas perforadoras y en la parte interior son recubiertos con caños de PVC o hierro sin costura (Price, Carrillo & Cardona, 2003, p. 56).
- *Pozos hincados*: Estos pozos tienen un diámetro de 25 a 75 mm y se perforan en terrenos no consolidados, se le conoce también como pozo entubado porque tiene un tubo forrado que en su extremo posee un taladro, en el tubo tiene orificios por donde penetra el agua en el revestimiento (Cevallos, 2019 citado en Pittman, 2013, p. 13).

2.3.5.2. Métodos de perforación

Existen diferentes métodos de perforación de pozos como el método de percusión con cable, rotación y rotopercusión, la utilización de cada uno de ellos depende del tipo de material a atravesar, el caudal necesario, la profundidad y diámetro del pozo requerido (Collazo & Montaña, 2012, p. 37).

Tabla 1-2: Comparación de los diferentes métodos de perforación

Ventajas	Método rotativo	Método de rotopercusión	Método a percusión con cable
Tiempo empleado en perforar o avance	10 a 50 m/día	40 a 50 m/día	1 a 10 m/día
Tipo de material que puede atravesar	Terrenos sedimentarios	Rocas duras	Todo tipo de terrenos
Facilidad en determinar napas portadoras	Baja. Se enmascaran debido al uso de lodo de perforación	Alta. Se determinan fácilmente	Alta. Se determinan fácilmente
Tubería de maniobra	No necesita	Imprescindible en determinados materiales	Imprescindible en determinados materiales
Muestreo	Pobre	Regular	Bueno
Ventajas	Alcanza grandes profundidades y realiza pozos de gran diámetro	El más rápido en roca dura	Simplicidad del método. Adaptable a todo tipo de terrenos
Inconvenientes	Enmascara todos los aportes de agua	No perfora en materiales no consolidados	Avance lento en rocas duras
Calidad constructiva	Buena	Buena	Buena

Fuente: Collazo & Montaña, 2012, p. 37.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

2.3.6. Fuentes de Contaminación de agua subterránea

Las causas que originan la contaminación de los acuíferos pueden clasificarse en cuatro de ellas de origen antrópico, que se explica a continuación (Fuentes, 2017, p. 25).

2.3.6.1. Origen geológico

El origen geológico se divide en dos tipos: primario y secundario. El origen primario se refiere a la disolución de la roca original, mientras que el secundario, al contaminante retenido en minerales secundarios, los cuales resultan del intemperismo de la roca original. Entre ellos se encuentran los óxidos de hierro y las arcillas, las cuales, junto con materia orgánica, tienen una gran cantidad de sitios de adsorción en su superficie por lo que atraen fuertemente a metales. Por consiguiente, dichos elementos se adsorben preferentemente en minerales secundarios una vez que éstos se desprenden de la roca original (Banning, 2020, pp. 2-8).

Por ejemplo, la presencia de arsénico y de hierro en el agua subterránea es explicado por varios estudios realizados en México, tanto para la zona norte como para áreas geotermales, concuerdan en que el origen de As y F es primordialmente geogénico (Armienta & Segovia, 2008; Reyes et al., 2013; Alarcón et al., 2019).

El origen geogénico del As y F ha sido reportado por varios investigadores en Latinoamérica (Morales et al., 2018; Kumar et al., 2019; Bundschuh et al., 2021) y Asia (Shaji et al., 2020; Cao et al., 2021; Rahman et al., 2021). Es interesante observar que en estos y otros estudios se reportan características similares a la geología del estado de Chihuahua; entre ellas, la presencia de rocas volcánicas ricas en sílice y acuíferos de aluvión de edad geológica reciente.

La presencia de iones de Fe en las aguas subterráneas se atribuye generalmente a la disolución de rocas y minerales que contienen Fe, que son principalmente óxidos (hematita, magnetita y limonita), sulfuros, carbonatos y silicatos en condiciones anaeróbicas en presencia de agentes reductores como materia orgánica y sulfuro de hidrógeno (Dalai, Ramakar & Desai, 2015, p. 1127).

Por lo que los valores correspondientes a estos elementos pueden variar considerablemente en función de las condiciones geográficas y la actividad antropogénica. Una vez descrita la causa geológica se describen las causas antropogénicas que generan a presencia de contaminantes en las aguas subterráneas.

2.3.6.2. Contaminación por actividades domésticas y urbanas

En Latinoamérica, la creciente población urbana y la rápida urbanización asociada a centros urbanos no planificados y asentamientos periurbanos han superado la capacidad de los gobiernos para ampliar la infraestructura relacionada con el saneamiento y suministro de agua potable limitando las opciones disponibles para proporcionar acceso adecuado a agua de buena calidad (4–6).

Además, la brecha urbano-rural relacionada con el suministro de agua potable es mayor en los países en desarrollo, donde en áreas rurales, ocho de cada diez personas todavía no tienen acceso a una fuente adecuada de agua potable, generalmente asociado a la emisión de desechos sólidos emitidos de los urbanismos o de la inadecuada deposición de los mismos en vertederos improvisados (Piguave et al., 2019, p. 154). Como se observa en la ilustración 1.



Ilustración 1-2: Contaminación de aguas subterráneas de origen urbano y periurbano.

Fuente: Portillo, 2014, p. 1.

2.3.6.3. Contaminación por actividades agrícolas y ganaderas

El uso de fertilizantes en la agricultura debe ser de acuerdo con las características fisicoquímicas del suelo y de las necesidades del cultivo, con el fin de evitar excedentes que contaminan los recursos hídricos, especialmente por nitritos y nitratos. El uso de agroquímicos de menor impacto disminuye problemas de salud a los habitantes y al ambiente (Ramírez et al., 2014, p. 344). El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas pueden llegar a las aguas subterráneas por lixiviación (Global Water Partnership, 2012, p. 18) como se observa en la ilustración 2.

2.3.6.4. Contaminación por actividades industriales y mineras

La contaminación de las aguas subterráneas ocurre por el vertido de los denominados residuos industriales que pueden ser líquidos o sólidos, que son todos los desechos producto del resultado de los diferentes procesos, actividades o servicios que se llevan a cabo en las industrias (Ilustración 3-2), los principales contaminantes de las industrias y agroindustrias son las sustancias orgánicas cuyo problema principal es la afección a las fuentes hídricas, y de ahí sus efectos negativos en la salud humana (Arias & Tiquillahuanca, 2012, pp. 17-19).

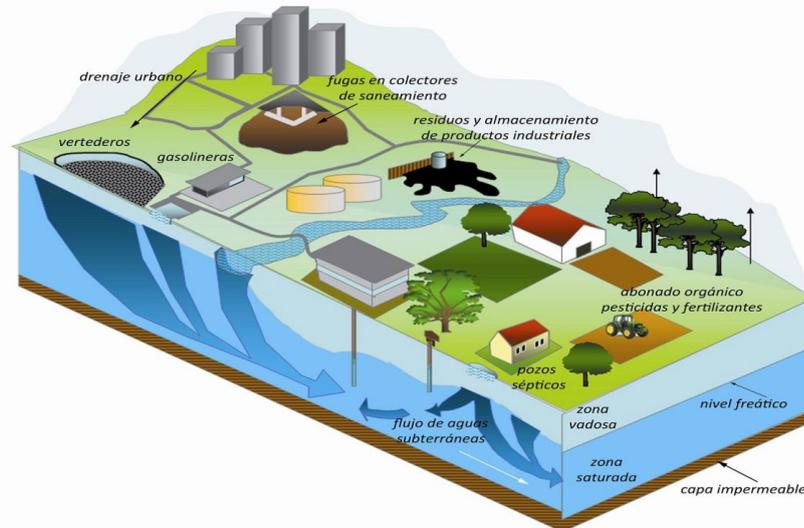


Ilustración 3-2: Contaminación de aguas subterráneas por el vertido de residuos líquidos industriales

Fuente: SUPPLILES, 2019, p. 1.

2.3.6.5. Contaminación por intrusión marina

La consecuencia principal de esta intrusión marina es el notable incremento en el agua de mezcla de las concentraciones de cloruros y sodio (iones claramente mayoritarios en el agua de mar), pero también de otros iones, como sulfatos, magnesio, calcio, potasio, estroncio, bromuros, y otros minoritarios. El principal efecto es el aumento de cloruros en el agua del acuífero, que puede dejar de ser utilizable, Basta un 2,5% de agua de mar en la mezcla para que el agua no sea potable ni pueda ser utilizada en agricultura.(Morell & Renau, 2019, pp. 6-7).

2.3.7. Manejo de aguas contaminadas

El manejo de aguas subterráneas contaminadas tiene dos métodos: preventivos y curativos. En primer lugar, la prevención busca impedir la contaminación y el método curativo se aplica para sanar la contaminación que ya se ha producido (Fuentes, 2017, p. 31).

2.3.7.1. Prevención

El agua subterránea a pesar de que tiene una dinámica más tardía que el agua superficial, esta agua del subsuelo necesitan tiempos muy prolongados para descontaminarse. Por ello, existe algunas medidas de protección que se citan a continuación (Collazo y Montaña 2012)

- Durante la construcción de pozos evitar la entrada de agua superficial y cementación en los pozos (Caraballo & Montaña, 2012, p. 35).
- Uso responsable de agroquímicos en el sector agropecuario (Caraballo & Montaña, 2012, p. 35).
- No usar pozos brocales como basureros o pozo negro (Caraballo & Montaña, 2012, p. 35).
- El aislamiento de la parte superior de los acuíferos para evitar la infiltración de agroquímicos, aguas residuales e infiltración de vertidos de cualquier tipo que pueden deteriorar la calidad del agua (Sahuquillo, Custodio & Ramon 2005, p. 18).

La materia orgánica, compuestos orgánicos específicos y metales pesados son la principal fuente de contaminación de aguas subterráneas en áreas urbanas producto de la lixiviación de los desechos sólidos especial cuando lo mismos son vertidos en áreas inadecuadas, por lo que se debe promover el uso de rellenos sanitarios en zonas planas, con baja infiltración de textura arcillosa de tal manera de minimizar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Mafla, 2007, pp. 23-30).

2.3.7.2. Tratamiento de aguas contaminadas

Si las medidas de prevención no han sido efectivas y las aguas provenientes de acuíferos están contaminadas deben ser sometidas a un proceso de tratamiento con la finalidad de eliminar los contaminantes físicos, químicos y/o biológicos que contengan, para posibilitar su uso sin impactos medio ambientales (Jarrín et al., 2014, p. 662).

Aireación

La aireación se emplea en los tratamientos de purificación de agua para que mediante el oxígeno sean removidos el hierro y el manganeso. En plantas de ablandamiento lo que se busca remover mediante la aireación es el dióxido de carbono antes de emplear cal para el ablandamiento. Esta operación también la emplean para la remoción de olores y sabores que en algunos casos son provenientes de sustancias volátiles en el agua. Dentro de las funciones de la aireación se encuentra aumentar el oxígeno disponible en el agua, eliminar gases como metano, amoníaco y cloro, además de remover compuestos orgánicos volátiles (Camacho & Quimis, 2022, pp. 37-38).

Precipitación química

La precipitación química es un tratamiento que comprenden tres fases:

- La coagulación: Es un proceso en el cual aumenta la tendencia de las partículas y se agregan a otras para formar partículas de mayor tamaño y así puedan precipitarse, por medio de la coagulación se limpia y eliminan contaminantes del agua. Este interacción actúa al aplicar sustancias sintéticas al agua (coagulantes) (Camacho & Quimis, 2022, p. 45).
- La floculación: Es el proceso en donde se forman los flóculos como resultado de la colisión y adherencia entre partículas coagulantes, consiste en la agitación que sirve para el aumento y aglomeración de los flóculos para aumentar su tamaño y peso para posteriormente estos puedan sedimentarse con facilidad (Camacho & Quimis, 2022, p. 45).
- La sedimentación: Este proceso es de tratamiento primario que permite reducir sólidos sedimentables después de los procesos de floculación y coagulación. La función es separa sólidos de mayor densidad, por lo contrario en el proceso de filtración se separan sólidos que sean de densidad similar al agua (Camacho & Quimis, 2022, p. 52).

Filtración

Este proceso se realiza a través de un medido poroso con el objetivo de separar partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (virus y bacterias), es importante realizar este paso para que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable. Los filtros tienen una remoción superior a 99% (Chulluncuy, 2004, p. 163)

Ablandamiento

El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura, en la mayoría de los casos iones de calcio y magnesio. En algunos casos iones de hierro también causan dureza del agua. Iones de hierro pueden también ser eliminados durante el proceso de ablandamiento. El mejor camino para ablandar un agua es usar una unidad de ablandamiento de aguas y conectarla directamente con el suministro de agua (Moreira, 2016, p. 338).

E) Desinfección

La desinfección es el último proceso del tratamiento del agua y tiene como objetivo destruir los microorganismos patógenos presente en el agua, en la desinfección se aplica hipoclorito de calcio dosificado en la tubería el agua filtrada al tanque de almacenamiento (Martínez et al., 2020, pp. 16-17).

2.4. Bases legales

2.4.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir (Sumak Kawsay).

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

2.4.2. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Artículo 79, literal e: La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, ¡trabajarán en coordinación para prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, ¡inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida.

Art. 117.- Uso y aprovechamiento. Para la exploración y afloración de aguas subterráneas, se deberá contar con la respectiva licencia otorgada por la Autoridad Única del Agua. En caso de encontrarlas, se requerirá la autorización para su uso o aprovechamiento productivo

Art. 118.- Corresponsabilidad en la conservación del agua subterránea. Los sistemas comunitarios, juntas de agua potable, juntas de riego y los usuarios del agua son corresponsables con el Estado en la protección, conservación y manejo del agua subterránea

Art. 120.- Inspección de las explotaciones. La Autoridad Única del Agua inspeccionará las explotaciones de aguas subterráneas para verificar el cumplimiento de los lineamientos y condiciones establecidas en la correspondiente autorización

2.4.3. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Artículo 6.- “Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades”.

Artículo 8.- “Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen”

2.4.4. Norma técnica ecuatoriana 1108

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano, en la tabla 1, 2 y 3 se muestran los diferentes parámetros de los niveles guías de la calidad del agua (INEN 1108, 2011).

Tabla 2-2: Características físicas, sustancias orgánicas y radioactivas

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente(Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

Fuente: INEN 1108 2011, p. 2.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022

Tabla 3-2: Requisitos Microbiológicos del agua para consumo humano

	Máximo
Coliformes fecales ⁽¹⁾ : - Tubos múltiples NMP/100 ml o - Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
⁽¹⁾ ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

Fuente: INEN 1108, 2011, p. 3.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022

Tabla 4-2: Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

Fuente: INEN 1108, 2011, p. 3.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022

2.4.5. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nación.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

La presente investigación tiene un enfoque mixto. Es cuantitativo porque tiene valores numéricos como resultado de los análisis en campo y laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los mismos que son cuantificables y verificables. Es cualitativo porque el resultado del análisis de los nueve parámetros del ICA-NSF presentó valores en los cuales se calificó calidad del agua por medio de indicativos de colores y un rango de números.

3.2. Nivel de investigación

El trabajo de investigación es de tipo explicativo a través del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se puede determinar la influencia de uno o más parámetros debido a las actividades antropogénicas del sitio que establecerá la calificación de la calidad del agua.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. *Según la manipulación o no de la variable independiente*

Es experimental porque se obtiene datos a través de la manipulación de los nueve parámetros fisicoquímicos y biológicos del ICA-NSF analizados en campo y laboratorio cuyos resultados de las variables son cuantificables.

3.3.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

Es transversal debido a que el monitoreo, análisis y resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del agua subterránea corresponde a un determinado y único momento en las tres comunidades.

3.4. Tipo de estudio

Este tipo de estudio es documental por la recopilación de información a través de libros, revistas y documentos para la elaboración de este proyecto investigativo. También se consideró que el estudio es de campo porque se realizó el muestreo in situ y análisis de parámetros como la temperatura, oxígeno disuelto y pH en cada pozo de las tres comunidades.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Localización del Proyecto

El estudio se realizó en la parroquia San José de Morona cantón Tiwintza, provincia de Morona Santiago en tres comunidades shuar, las cuales fueron los puntos de monitoreo.

Límites de la parroquia

Norte: Cantón Morona y Taisha

Sur: Perú

Este: Cantón Taisha

Oeste: Cantón Tiwintza (Parroquia Santiago) y Logroño

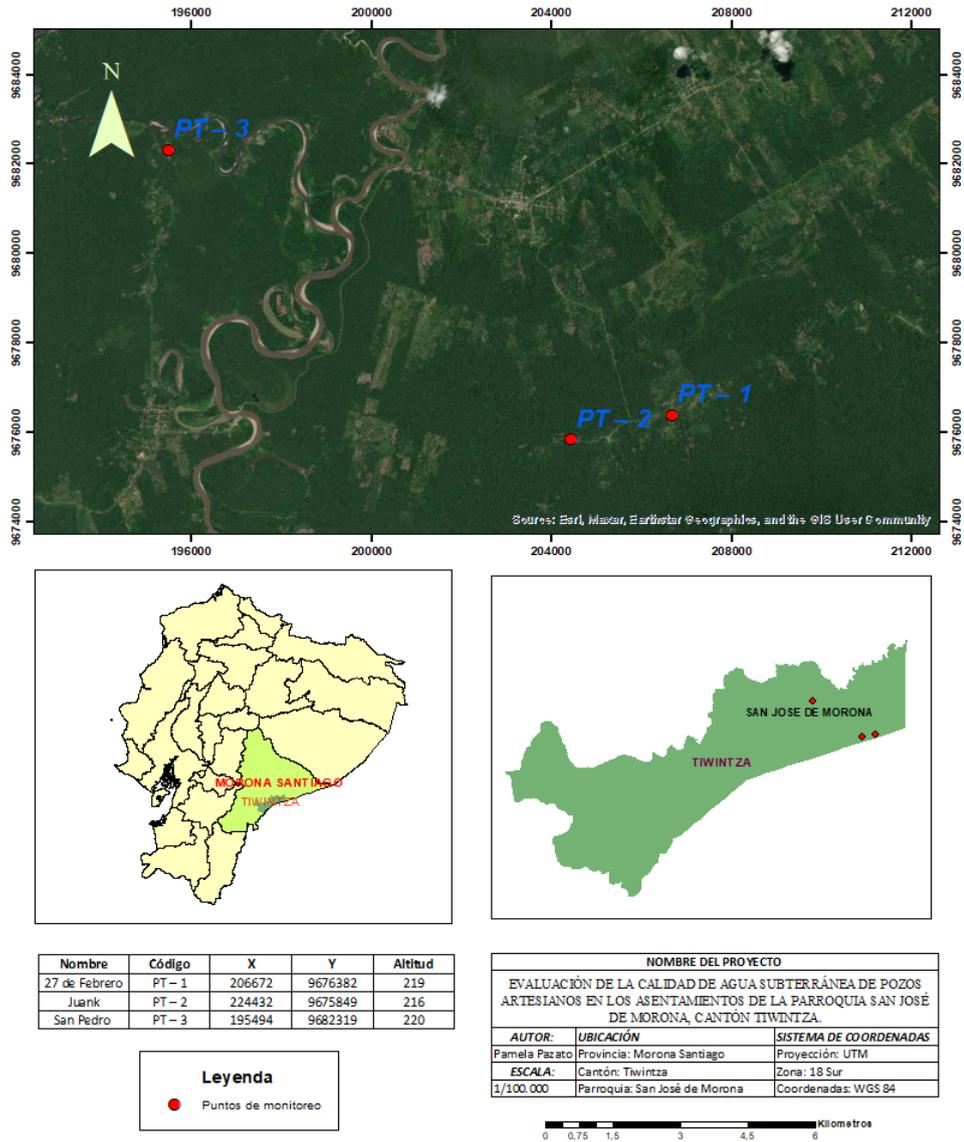


Ilustración 1-3: Localización de las Estaciones de Muestreo

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.5.1.1. Sitio de estudio y puntos de monitoreo

Las tres comunidades en donde se realizó el estudio son; 27 de febrero, Juan y San Pedro las mismas que cuentan con pozos artesianos para la captación de agua mediante sistemas de bombeo.

Tabla 1-3: Coordenadas de los puntos de monitoreo

Localización		Coordenadas UTM WGS 84		
Código	Nombre/Comunidad	Longitud	Latitud	Altitud m.s.n.m
PT – 1	27 de febrero	206672	9676382	219
PT – 2	Juank	224432	9675849	216
PT – 3	San Pedro	195494	9682319	210

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.5.2. Selección de los puntos de monitoreo

La determinación de los puntos de muestreo se estableció en base a las necesidades del Gobierno Autónomo descentralizado de Tiwintza comunicadas por alcalde Lic. Wilfrido Calle debido que en estas tres comunidades se está ejecutando proyectos de agua entubada a través de sistemas de bombeo. Por ello se considera los siguientes aspectos:

- Fácil accesibilidad y toma de muestra
- Actividades antropogénicas alrededor
- En las comunidades existen los pozos perforados

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Método de muestreo

Se recolectó las muestras de los tres pozos de cada comunidad mediante el sistema de bombeo bajo los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 (INEN 2169 2013) y un Manual de buenas prácticas de muestreo de aguas subterráneas del Ministerio del Ambiente de la República del Perú (MINAM, 2008).

Una vez que se localizó los puntos de monitoreo se procedió a realizar un solo muestreo de cada pozo para su respectivo análisis, el monitoreo se inició con la medición de parámetros in situ que son: temperatura, pH, turbiedad y oxígeno disuelto mediante el uso del multiparamétrico marca APERA modelo DO850 Optical DO Meter y el uso de un pHmetro marca Cobra4 PHYWE , luego se procedió a la recolección de muestras de agua en frascos estériles para ser llevados al laboratorio y determinar los parámetros ex situ; nitratos, fosfatos, DBO5, sólidos totales disueltos y coliformes fecales.

3.6.2. Manejo y conservación de las muestras

Una vez recolectadas las muestras de cada pozo se realizó el etiquetado, posteriormente se colocó en una hielera para conservar y no alterar la temperatura hasta llegar al laboratorio.

3.6.3. Materiales y equipos para el muestreo y análisis in situ

Tabla 2-3: Materiales y equipos utilizados en campo

Materiales	Descripción
Guantes	Para la toma de muestra biológica
Etiquetas y marcador	Se utilizó para el etiquetado de las muestras
Hojas de registro para muestras	Se utilizó para anotar los resultados de los parámetros in situ
Hielera	Para el traslado y conservación de las muestras
Balde 5 litros	Para la toma de agua y análisis de parámetros in situ
Esfero	Anotar los resultados in situ
Envases esterilizados de 250 ml	Para el traslado y conservación de las muestras
Manguera de una pulgada	Para sacar las muestras de agua
Una CHE una pulgada	Conectado a la manguera
Bridas, uniones y teflón	Se usó para la instalación de la bomba con la manguera
Cable de luz (extensión)	Para conectar a la bomba de agua
Equipos	
GPS - GARMIN 78S	Toma de puntos de monitoreo
Celular (cámara)	Toma de fotografías
Multiparamétrico APERA DO850	Se utilizó para determinar los parámetros in situ (temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez)
pHmetro Cobra 4	
Bomba de agua PAOLO Pump JET – 80S	Para la extracción de agua de los pozos artesianos

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.6.4. Toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas

Antes de realizar el muestreo es importante hacer la purga del pozo que consiste en el rebajamiento del nivel de agua en pequeños volúmenes evitando el cambio de flujo natural y el aumento de turbiedad, para este procedimiento se utilizó una bomba (Ministerio de Ambiente del Perú, 2008, p. 14).

El monitoreo y los análisis de los pozos artesianos en las tres comunidades se llevó a cabo una vez en el mes de junio del 2022, se procedió a realizar los análisis in situ en cada comunidad para posteriormente hacer la toma de muestra de cada pozo que fue enviado al laboratorio en la ciudad de Riobamba. Para realizar el análisis de los cuatro parámetros en el lugar se tomó en cuenta el manual de buenas prácticas de muestreo de aguas subterráneas del Ministerio del Ambiente de la República del Perú, y para la toma de muestras que fueron llevadas al laboratorio se consideró la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 para un adecuado manejo y conservación de las muestras como se detalla en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Metodología y toma de muestras fisicoquímicos y microbiológicas

Tipo de análisis	Parámetro	Procedimiento	Tipo de envase
Ex Situ	Coliformes fecales	Primero se colocó unos guantes quirúrgicos para evitar contaminar la muestra, se introdujo el envase esterilizado directamente en el chorro de agua que fue extraída con una bomba, dejando un espacio libre que permite homogenizar la muestra antes del análisis.	Plástico debidamente esterilizado de 100 ml
	Nitratos, Fosfatos, Sólidos totales disueltos, DBO5, Turbidez	Lavar y enjuagar por dentro y por fuera los recipientes unas tres veces con la misma agua del pozo, introducir el envase en el chorro y llenar completamente sin dejar aire sobre la muestra para evitar interacción en la fase gaseosa y haya modificación del contenido de CO2.	Plástico de 1000 ml
In Situ	pH Temperatura Oxígeno Disuelto	Para el análisis de estos parámetros, se colocó un balde de plástico en el chorro de agua que fue extraído por una bomba con una manguera, hasta obtener una muestra representativa y se procedió hacer los análisis.	

Fuente: INEN 2169, 2013, p. 6; INEN 2176, 2013, pp. 6-10; Ministerio de Ambiente del Perú, 2008, p. 15.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.6.5. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos

El análisis de ciertos parámetros se recomienda realizar en el mismo sitio para evitar alteraciones y conseguir resultados exactos, la toma de muestras debe ser de un volumen representativo es decir (NTE INEN 2176, 2013, p. 6).

En análisis de los parámetros in situ que son; temperatura, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno se realizó en el lugar de cada pozo y los parámetros restantes; nitratos, fosfatos, coliformes fecales, DBO5 y Sólidos totales disueltos fueron analizados en un laboratorio en la ciudad de Riobamba. Los parámetros analizados de muestras en la siguiente tabla 4-3.

Tabla 4-3: Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la NSF

Parámetro	Método	Procedimiento
pH	Medidor digital portátil	Se procedió a usar el Ph-metro digital PYWE COBRA4, el mismo que fue introducido en un recipiente con una cantidad representativa de agua del pozo, teniendo en cuenta que la sonda no debe tocar el fondo del balde. Posteriormente pasó un momento para que los números se estabilicen y se tomó lectura del potencial de hidrógeno.
Temperatura	Medidor digital portátil	Para medir la temperatura y oxígeno disuelto se utilizó el equipo multiparamétrico portátil APERA donde se introdujo la sonda en un balde con una cantidad representativa de agua y se procedió a dar lectura.
Oxígeno Disuelto		
Turbidez	Nefelométrico	2130-B
Nitratos	Colorímetro	4500-NO3-E
Fosfatos	Colorímetro	4500-P-D
Sólidos totales disueltos	Gravimétrico	2540-B
Demanda Bioquímica de oxígeno	Biodigestión - volumetría	5210-B
Coliformes fecales	Siembra en masa	9222-E

Fuente: Sugawara & Nikaido 2015.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.6.6. Determinación del Índice de Calidad de Agua de la NSF

A nivel mundial se han desarrollado diferentes ICA, entre los cuales se destaca el de la National Sanitation Foundation ICA- NFS desarrollado por Brown en 1970 para los ríos en Estados Unidos y utilizado en diferentes partes del mundo (Torres et al., 2010, p. 87).

El ICA-NSF está formado por ocho variables fisicoquímicas y un componente biótico: las coliformes fecales, a nivel mundial este Índice de Calidad de Agua es el más usado para valorar el agua para consumo humano (González, Caicedo & Aguirre, 2013, p. 98).

3.6.7. Parámetros del ICA-NSF

Tabla 5-3: Parámetros del Índice WQI de la NSF

Parámetros	Unidades	Factor de ponderación
Oxígeno Disuelto	% Saturación	0,17
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0,15
pH	Unidades de pH	0,12
DBO ₅	mg/L	0,10
Cambio de temperatura	°C	0,10
Fosfatos	mg/L PO ₄	0,10
Nitratos	mg/L NO ₃	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Sólidos disueltos totales	mg/L	0,08
Total		1

Fuente: National Sanitation Foundation, 2013, p. 9.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.6.8. Formulación y cálculo del índice NSF

La National Sanitation Foundation utilizó una suma lineal ponderada cuyo resultado de su aplicación es un número de 0 a 100, donde 0 simboliza una agua de calidad muy pobre y el valor de 100 simboliza una agua de excelente calidad (Santa Cruz, 2013, p. 15).

Al inicio la ecuación para el cálculo del índice fue un promedio geométrico ponderado:

$$WQI = \left(\prod_{i=1}^n SI \right)^{w_i}$$

Actualmente la ecuación se utiliza un Promedio Aritmético Ponderado:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Dónde:

WQI: Índice de Calidad de Agua (ICA)

SI_i: Subíndice del parámetro i (variable)

W_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (SI_i) y ponderados entre 0 y 1, de tal manera que la sumatoria sea igual a uno.

El cálculo del índice se clasifica de acuerdo con la calidad del agua en base a una escala de colores

Tabla 6-3: Rangos para la calidad del agua mediante el índice WQI de la NSF

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0-25	Muy mala	
26 – 50	Mala	Naranja
51 – 70	Regular	Amarillo
71 – 90	Buena	
91 – 100	Excelente	

Fuente: Castro et al., 2014, p. 115.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

3.6.9. *Análisis Estadístico*

Para determinar la calidad de agua subterránea en los asentamientos de la parroquia San José de Morona se utilizó el análisis estadístico descriptivo y se obtuvo el resultado de los análisis de los pozos artesianos a través de un software IQA DATA. Este software es utilizado para determinar la calidad de agua hasta trece parámetros que establece la Fundación Nacional de Saneamiento (NFS) (Ben et al., 2012).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del ICA-NSF

4.1.1. Oxígeno disuelto (O.D.)

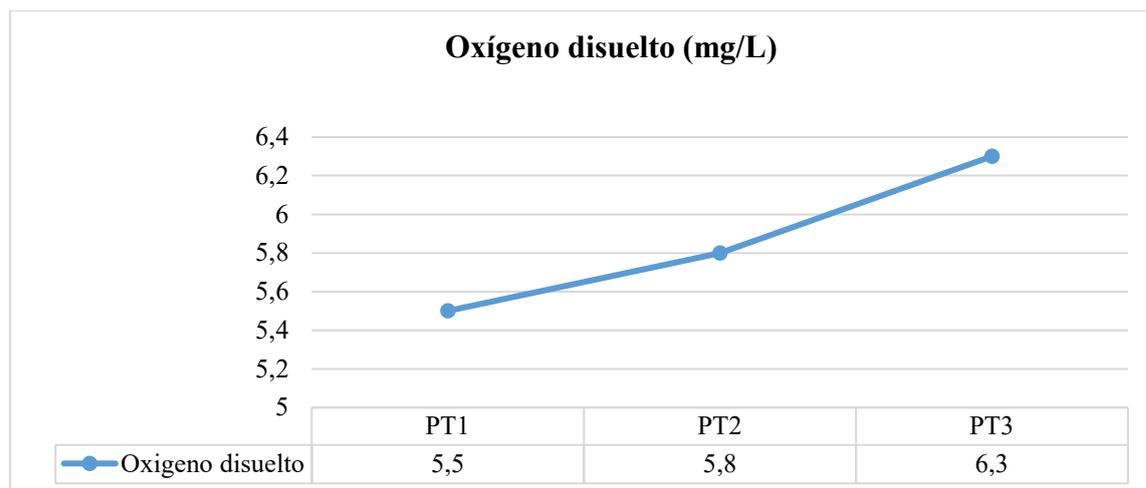


Ilustración 1-4: Variación del oxígeno disuelto

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Según Raffo y Ruiz (2014, p. 75) mencionan que hay una estrecha relación de la cantidad de oxígeno disuelto y su grado de contaminación, cuando existe mayor cantidad de materia orgánica en el agua, los microorganismos necesitan mayor cantidad de oxígeno para oxidar y degradar los nutrientes. Por otro la PREQB (2004; citado en San Cruz, 2013, p. 22) indica que cuando existe niveles altos oxígeno disuelto el resultado de la calidad de agua es buena.

En referencia a la presente investigación el pozo del PT-3 cumple con el límite permisible según la tabla 1 Acuerdo Ministerial 097 que es un valor no menor a 80% de saturación, y el PT-1 Y PT-2 tienen un valor de 70,6 % y 73% de saturación respectivamente los mismos que indican alteración en el agua subterránea.

4.1.2. Cambio de temperatura (ΔT)

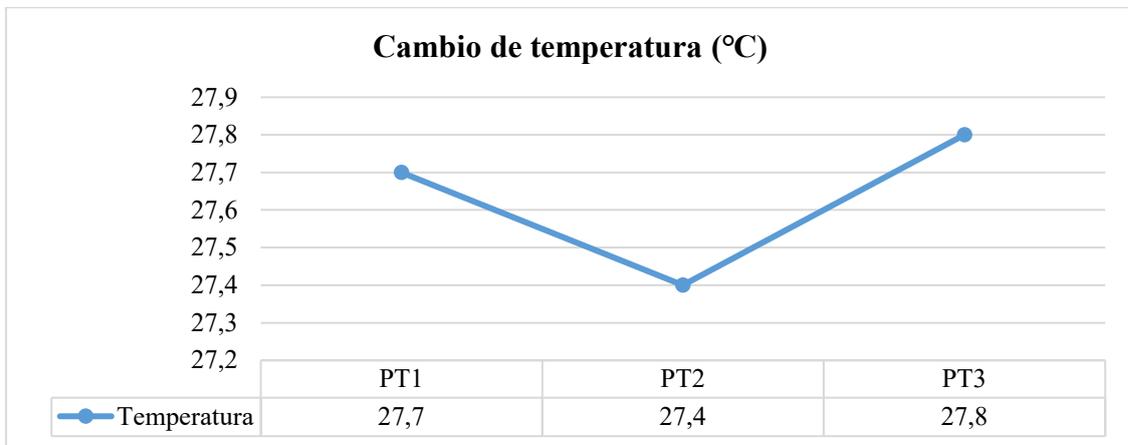


Ilustración 2-4: Variación del cambio de temperatura

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

La ilustración 2-4 indica la variación de la temperatura de los tres pozos artesianos, la temperatura más alta se registró en el PT- 3 con un valor de 27,8 °C, mientras que la temperatura más baja fue en el PT-2 con un valor de 27,4 °C.

Según, Santa Cruz (2013, p. 90) la temperatura medida de los pozos artesianos son similares a pesar de que se ha medido en la mañana (22.42 °C) y tarde (23.25 °C), esto es debido a la misma profundidad de los pozos ya que facilitan la aireación y al mismo tiempo funciona como refrigerante conservando niveles aceptables de oxígeno disuelto. De la misma manera Jimenes y Colmenares (2009, citado en Molina 2018, p. 74) mencionan que la temperatura de las agua subterráneas generalmente es constante.

4.1.3. Potencial de hidrógeno (pH)

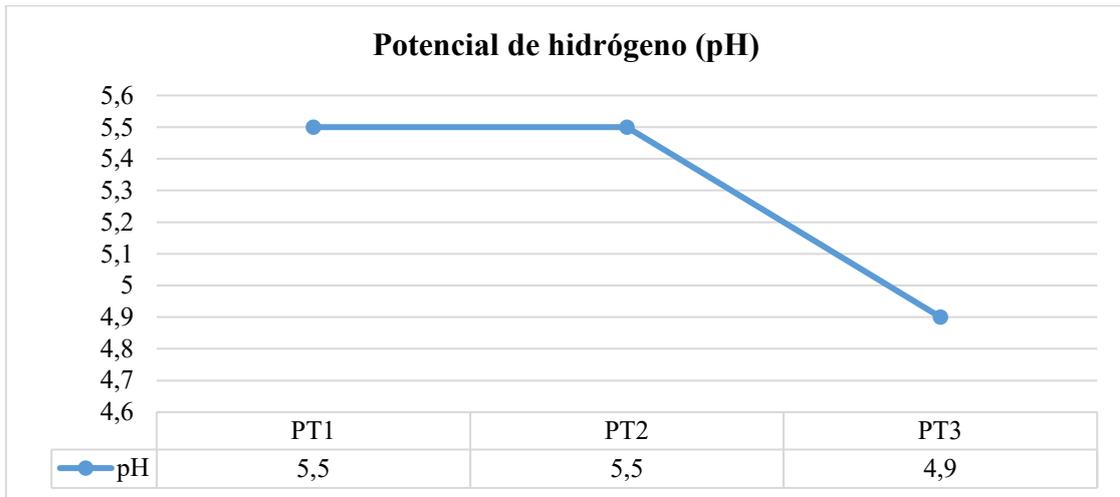


Ilustración 3-4: Variación de pH

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En el gráfico 3-4 indica los valores del pH, siendo el PT-1 y PT-2 que tienen un valor de 5,5 y el PT-3 con un valor de 4,9 indicando que son ligeramente ácidos y se encuentran fuera del rango permisible establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A, que indica un valor óptimo de 6 a 9.

De acuerdo a los estudios realizados de calidad de agua los valores de pH ligeramente ácidos se debe a la presencia de sales disueltas en el agua (González, 2019, p. 47). Según, Santa Cruz (2013, p. 89) cuando el pH de los pozos artesianos poseen concentraciones dentro de los estándares establecidos para consumo humano significa que contiene muy poca cantidad de minerales. Por otro lado Beita (2008, p. 16) menciona que los cambios de pH se deben a factores como; las prácticas agrícolas que conduce la lixiviación de aniones al subsuelo y la lixiviación del aluminio del suelo por ácidos fuertes que lo llevan hacia las aguas que sean ricas en materia orgánica de ahí se acomplejará el aluminio y se libera los iones de H⁺, haciendo que haya una reducción del pH del agua.

De acuerdo con los estudios realizados en la presente investigación se cree que principalmente los valores ligeramente ácidos del pH se deben a la presencia de minerales disueltos en el subsuelo y las actividades agrícolas tendrían poca influencia ya que las paredes de los pozos artesianos se encuentran protegidos con tubo PVC para evitar la infiltración.

4.1.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

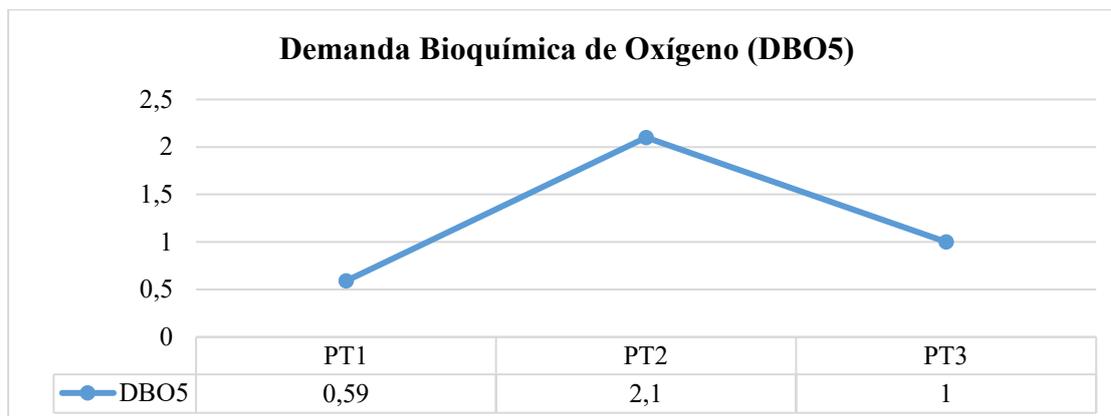


Ilustración 4-4: Variación de la DBO₅

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Los resultados se indica en el grafico la relación de la DBO en los tres pozos artesianos, se observa que en el PT-2 posee un valor de 2,1 mg/L y en el PT-1 tiene un valor de 0,59 mg/L. La Demanda Bioquímica de Oxígeno permite determinar la cantidad necesaria de oxígeno para que se cumpla con el proceso de la degradación de la materia orgánica (España et al., 2017, p. 3).

Desde el punto de vista de Mamani (2012, p. 89) indica que los valores superiores a 1 mg/L en las aguas subterráneas significa que hay contaminación por infiltración freática y en las aguas superficiales los valores son inconsistentes y depende de las fuentes contaminantes aguas arriba.

En opinión de Avecillas (2014, p. 13) argumenta que el valor de la DBO también se debe a la presencia de bacterias nitrificantes y protozoos, así como también a la existencia, concentración y edad de gérmenes, ya que estos organismos se nutren consumiendo oxígeno. Por lo tanto se puede afirmar que es los pozos analizados viven organismos vivos como las bacterias nitrificantes, los mismos que generan mayor DBO₅ en el PT-2 y PT-3 y se relaciona por su alto contenido de nitrato en los mismos puntos.

4.1.5. Sólidos disueltos totales (TDS)

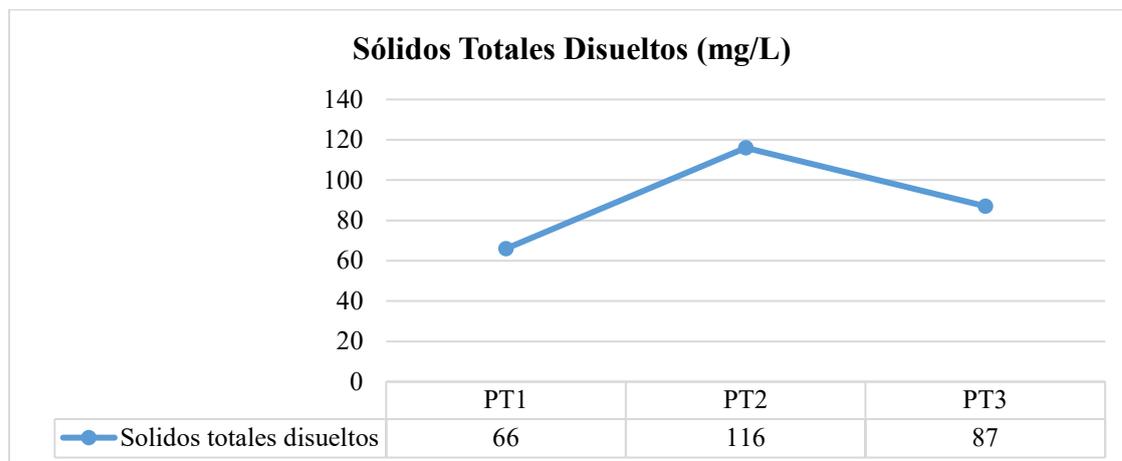


Ilustración 5-4: Variación de TDS

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Se puede observar en el Ilustración 5-4 el resultado de los sólidos disueltos totales del agua subterránea de los pozos, el PT-2 presenta el valor más alto con una cantidad de 116,0 mg/L, y el PT-1 tiene el valor más bajo de sólidos con 66,0 mg/L.

Los sólidos disueltos totales del agua subterránea tiene relación con la conductividad eléctrica y es directamente proporcional en su contenido, estos valores se incrementan con el efecto de la contaminación natural o antropogénica (Silva et al., 2013, p. 134). Mamani (2012, p. 100) menciona que la presencia de sólidos disueltos totales en el agua no significa una contaminación grave, pero es un indicador de la existencia de contaminantes químicos es decir, de la composición química y concentración en sales y otras del agua.

Desde el punto de vista de Falcon et al. (2017, p. 47) deduce, que existen mayor concentración de STD en pozos del sector agrícola y pecuario a causa de la sobreexplotación. Lo que relaciona al presente estudio ya que en el PT-2 el valor de los STD es mayor que los demás puntos debido a que se realizan más actividades antropogénicas cerca de la fuente de agua.

4.1.6. Turbidez

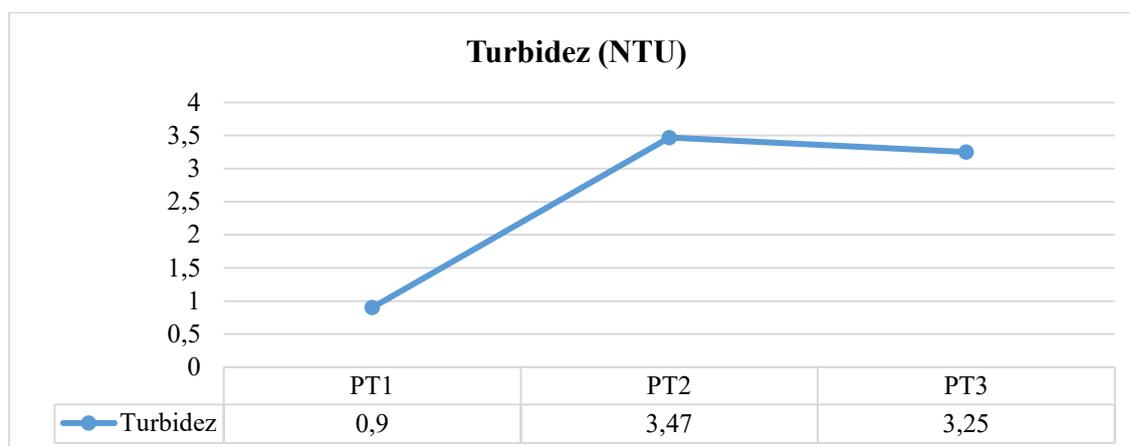


Ilustración 6-4: Variación de la turbidez

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En la tabla 6-4 se puede apreciar los resultados de la turbiedad en los tres pozos artesianos, indicando el valor más bajo en el PT-1 de 0,9 UNT el PT-2 presenta el valor más alto de 3,47 UNT. La turbidez en el agua es causada por las partículas en suspensión causada por algunos procesos como: la erosión del suelo, microorganismos como algas, bacterias o parásitos y/o de actividades humanas (Marcó et al. 2004, p. 73).

En la opinión de Mamani (2012, p. 67) sostiene, que la turbiedad se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. También menciona que el agua para bastecimiento público se considera la turbiedad por tres aspectos, estática, la filtrabilidad y la desinfección.

Según Pastén et al. (2018, p. 194) considera que la turbidez puede ser afectada de forma natural y contaminación difusa de origen urbano, procesos de deterioro de la calidad del agua. En este estudio se puede decir que los resultados de la turbidez son de forma natural y tiene que ver muy poco con las actividades humanas, ya que los pozos artesianos están protegidos para evitar contaminación de la superficie.

4.1.7. Nitratos

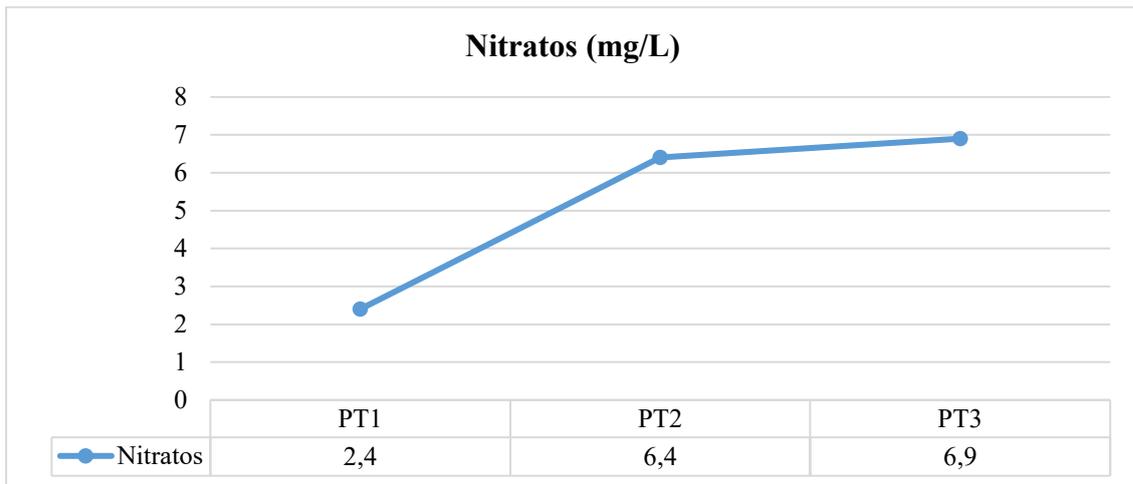


Ilustración 7-4: Variación de la concentración de nitratos

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En la tabla 7-4 la mayor concentración de nitratos corresponde en el PT-3 con un valor de 6,9 y el menor contenido de nitratos es en el PT-1 con un valor de 2,4. Los nitratos están presentes en el agua subterránea debido a diversas actividades humanas como la agricultura y la disposición de desechos de animales y humanos (Pacheco et al., 2003, p. 171).

Desde el punto de vista de Bolaños et al., (2017, p. 21) Considera que los nitratos en el agua es un indicador de contaminación ambiental de origen humano, y la presencia de este elemento se debe a una posible contaminación fecal por la existencia de amonio en los efluentes de tanques sépticos que se convierten rápidamente en nitritos y se filtran en las aguas, aun cuando haya una cierta distancia del pozo séptico y un manantial subterráneo. Los nitratos presentes en los pozos artesianos de la presente investigación pueden ser generada de los pozos sépticos de estas comunidades debido a que no cuentan con sistema de alcantarillado.

Por otro lado Mamani (2012), y (Caraballo & Montaña, 2012) señalan que los nitratos y nitritos son parte del ciclo del nitrógeno, por ende, se considera de origen natural. La concentración de nitratos en las aguas subterráneas casi siempre es baja, pero por medio de la infiltración y escorrentía estas concentraciones pueden aumentar, producto de granjas agrícolas y residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoniaco y fuentes similares. Lo que no se descarta lo mencionado en comparación a este estudio ya que la variación de la concentración de nitratos es baja y cumple con lo establecido en el TULSMA que da un valor de 10 mg/L como límite máximo permisible.

Montesdeoca (2009, p. 102) menciona que el estudio de 32 pozos excavados en los cuales algunos de ellos no presentan mayor contaminación a excepción de tres pozos en la zona El Pedregal que contiene altas concentraciones de nitrógeno por el cual indica que se debe a la infiltración, escorrentía superficial y percolación de purines que provienen de zonas ganaderas de la comunidad. En cuanto a este tipo de contaminación se descarta en este estudio por haber ausencia de actividades pecuarias en la zona de estudio.

4.1.8. Fosfatos

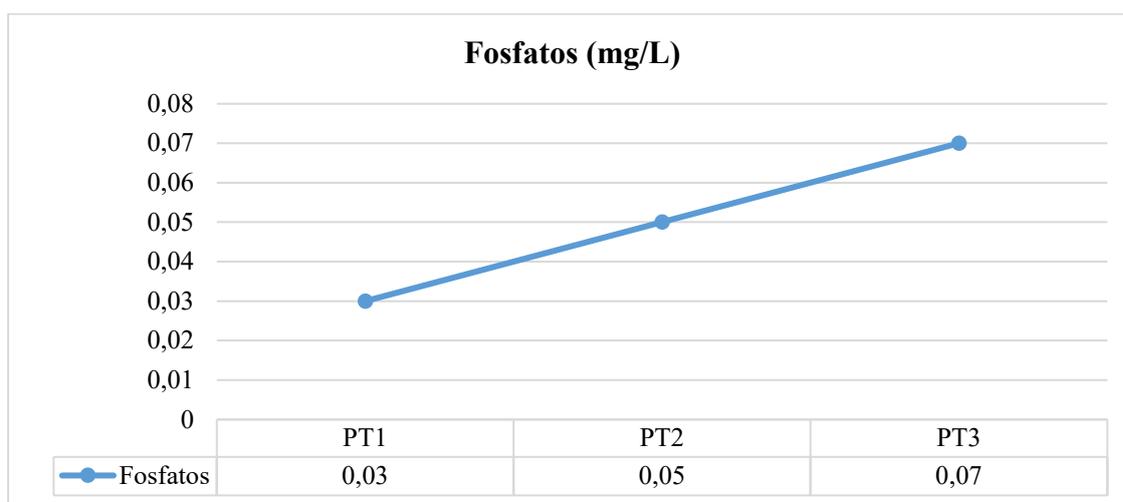


Ilustración 8-4: Variación de la concentración de fosfatos

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En la ilustración 8-4 presenta los resultados de los fosfatos de los pozos artesianos, siendo el PT-1 que tiene el mínimo valor de 0,03 mg/L y el valor más alto es el PT-3 con un valor de 0,07.

El fósforo en el agua se encuentra en fase disuelta o particulada y es producto de la materia orgánica y rocas por ende es considerado como un elemento natural, las concentraciones altas de este elemento están presentes en áreas donde existe actividad humana y su excedente provoca la eutrofización (Santa Cruz, 2013, p. 21). En cuanto a este estudio realizado se puede decir que los valores de la concentración de fosfatos no afecta al agua subterránea ya que el resultado del análisis es bajo, en comparación de la Organización Mundial de la Salud con sus siglas en inglés WHO, cuyo límite máximo permisible para agua potable es de 0,5 mg/L (WHO, 2008; citado en Curillo 2017, p. 41).

Desde el punto de vista de Bolaños et al., (2017, p. 25) postulan que la presencia de fosfatos en el agua se relaciona directamente con el uso desmesurado de fertilizantes en el sector agrícola, los mismos que pueden provocar en enfermedades como el cáncer, osteoporosis y daño renal.

4.1.9. Coliformes fecales

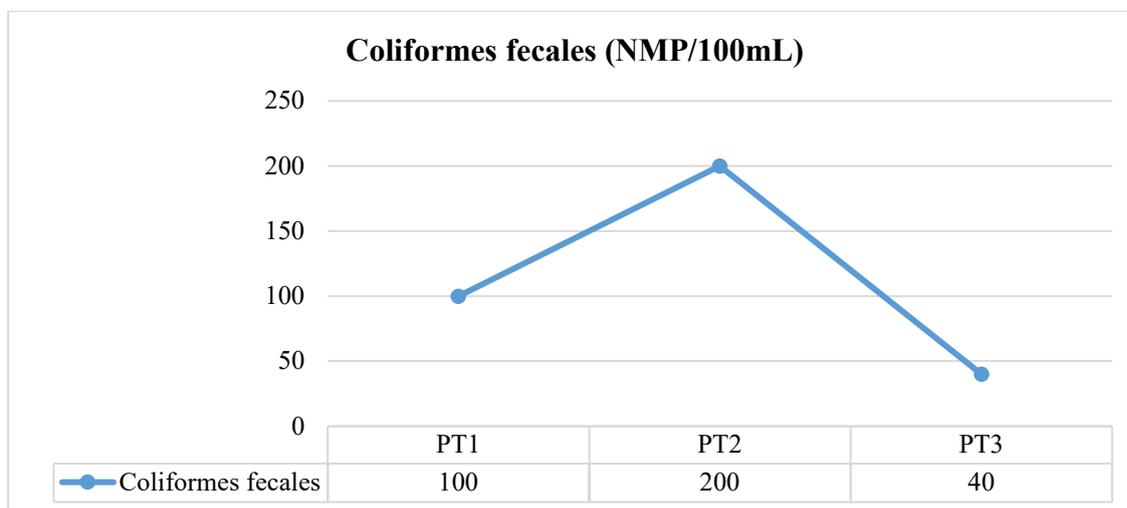


Ilustración 9-4: Variación de coliformes fecales

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Los coliformes fecales están presentes en heces de humanos y animales, por lo tanto, es importante evaluar el agua de los pozos para determinar la presencia de estos patógenos. En el caso de que exista una alta contaminación de coliformes fecales en aguas subterráneas es necesario aplicar una dosificación mayor de cloro (Pacheco et al., 2003, p. 171).

Desde la posición de Couto et al., (2018, pp. 3-10) argumentan que la presencia de coliformes fecales se debe a las lixiviaciones de los efluentes producto de las granjas de porcinos en la zona, por lo tanto la calidad de los acuíferos depende exclusivamente de las actividades humanas. Por consiguiente, se cree que la presencia de coliformes fecales en los pozos artesianos de este estudio tiene correspondencia a actividades antropogénicas del lugar, por otro lado Valderrama et al., (2010, p. 172) deduce según su investigación que la contaminación en pozos artesianos en zonas rurales es mayor debido a la carencia de drenaje en comparación que las zonas urbanas.

El agua de los pozos presentó los valores más altos de coliformes fecales en comparación que las aguas superficiales debido a la presencia de focos de contaminación como las letrinas, pozos ciegos o corrales de animales (Rodríguez et al., 2018, pp. 11-12), lo que relaciona a la presente investigación por la ausencia de alcantarillado, mala ubicación de pozos sépticos e incluso existen hogares que no cuentan con estos pozos y realizan sus necesidades en cualquier lugar.

4.2. Comparación de resultados con la NTE INEN 1108

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos fueron comparados con la tabla 1 del Acuerdo Ministerial 097 y calificados según el límite máximo permisible. A continuación, se muestra las tablas elaboradas de cada comunidad.

Tabla 1-4: Comparación de resultados, Acuerdo Ministerial 097, NTE INEN 1108 y Reglamento del Ministerio de Salud Pública de Perú

Parámetro	Unidades	PT-1 27 de Febr.	PT-2 Juank	PT-3 San Pedro	Límite permisible			Calificación		
		Resultado	Resultado	Resultado	AM 097	NTE INEN 1108	Reglamento MSP Perú	PT-1 27 de Febr.	PT-2 Juank	PT-3 San Pedro
Oxígeno disuelto	mg/L	5,5 (70,6% Sat)	5,8 (73% Sat)	6,3 (80,8% Sat)	No < 80% saturación y no – 6mg/L			No Cumple	No Cumple	Cumple
Temperatura	°C	27,7	27,4	27,8	3 grados + o - condición natural			Cumple	Cumple	Cumple
DBO5	mg/L	0,59	2,1	1	<2			Cumple	No Cumple	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	100	200	40		Ausencia		No Cumple	No Cumple	No Cumple
Nitratos	mg/L	2,4	6,4	6,9	50			Cumple	Cumple	Cumple
Fosfatos	mg/L	0,03	0,05	0,07	No aplica	No aplica	No aplica			
Ph		5,5	5,5	4,9	6 – 9			No Cumple	No Cumple	No Cumple
Turbidez	NTU	0,9	3,47	3,25		5				
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	66	116	87			1000	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: INEN 1108, 2011; Ministerio de Ambiente, 2015; Ministerio de Salud de Lima, 2010.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En esta tabla se puede observar los parámetros del ICA-NSF que fueron analizados de las tres comunidades pertenecientes a la parroquia San José de Morona, cuyos resultados fueron comparados con el Acuerdo Ministerial 097, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 y el Reglamento del MSP de Perú. De los nueve parámetros analizados 2 de ellos no cumplen con el límite máximo establecido como son los coliformes fecales y el pH en todos los pozos artesianos, además en el PT-1 y PT-2 de la comunidad San Pedro el oxígeno disuelto excede lo establecido en el AM 097, así como también el PT-2 la cantidad de la DBO₅ excede el límite permisible.

4.3. Resultados del ICA-NSF

Se evaluó la calidad del agua de los tres pozos artesianos ubicados en las tres comunidades de la Parroquia San José de Morona. Para determinar el índice de calidad del agua subterránea se realizó por medio del software IQA Data, el mismo que nos permitió establecer los parámetros que están influyendo en la calidad del agua. Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro

Tabla 2-4: Resultados del ICA-NSF de los tres pozos artesianos

Parámetros	Unidades	PT-1	PT-2	PT3
Oxígeno disuelto	mg/L	5,5	5,8	6,3
Temperatura	°C	27,7	27,4	27,8
pH		5.5	5.5	4.9
Coliformes fecales	NMP/100ml	100	200	40
Nitratos	mg/L	2,4	6,4	6,9
Fosfatos	mg/L	0,03	0,05	0,07
DBO	mg/L	0,59	2,1	1,0
Turbidez	NTU	0,9	3,47	3,25
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	66	116,0	87,0
Valor del ICA-NSF		68,37	61,40	62,83
Clasificación		Regular	Regular	Regular

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

En la tabla 2-4 se indican los resultados obtenidos del ICA-NSF de los pozos artesianos correspondientes al mes de julio, en el PT-1 en valor del índice es de 68,37 lo que corresponde a una calificación de REGULAR calidad según el ICA-NSF, en este pozo los parámetros que influenciaron en la calidad del agua son coliformes fecales, pH, nitratos y oxígeno disuelto. En el PT-2 en valore del índice es de 61,40 clasificando al agua como REGULAR y los parámetros que tuvieron mayor influencia en la calidad del agua son los coliformes, nitratos y pH. Mientras que en el PT-3 el valor del índice es de 62,83 lo que también se califica como un agua de calidad

REGULAR, en este tercer pozo los parámetros que tuvieron dominio en cuanto a la calidad del agua son el pH, coliformes fecales y nitratos.

La contaminación del agua subterránea es de manera natural y antropogénica, de manera natural se debe a sustancias presentes en la naturaleza como yacimientos metalíferos, radioactivos y/o petrolíferos; y la contaminación antropogénica se da por actividades domésticas, industriales y agropecuarias (Collazo & Montaña, 2012, p. 33) de modo que, tiene relación la contaminación del agua subterránea con respecto a esta investigación como la alteración del pH por las sales disueltas en el agua y la presencia de coliformes fecales por falta de alcantarillado y/o la mala ubicación de pozos sépticos.

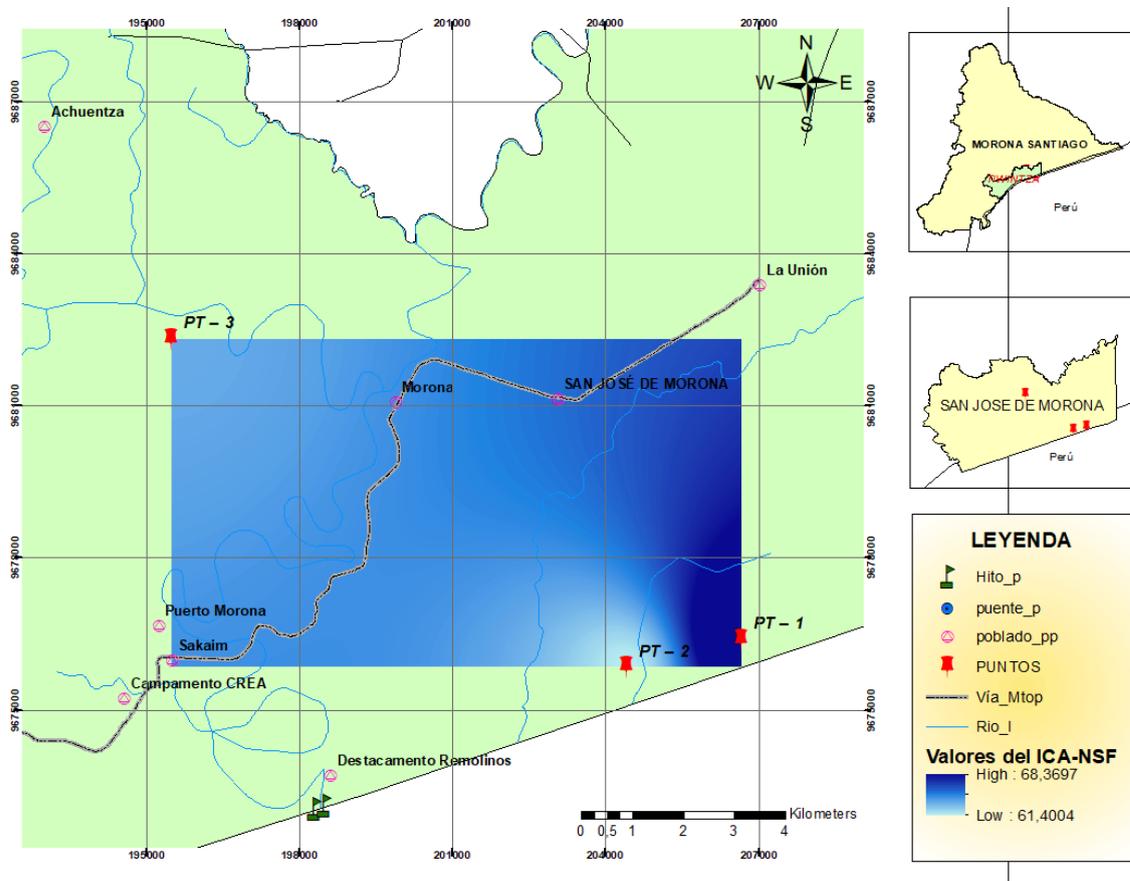


Ilustración 10-4: Zonificación de la calidad de agua de los pozos artesianos

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

CAPÍTULO V

5. Marco propositivo

5.1. Propuesta de un Plan de Manejo de las Aguas Subterráneas

Para realizar una eficaz gestión hídrica de los pozos artesianos, se desarrolló una propuesta de conservación, mitigación y manejo ambiental basado en el estudio de caracterización del agua realizado en las comunidades pertenecientes a la parroquia de San José de Morona. El objetivo de la propuesta es mantener estables las características del agua para el aprovechamiento humanitario; es por ello que se establecieron propuestas para la conservación mismas que van dirigidas a las 3 comunidades, pero los encargados a controlar y administrar será el gobierno Municipal del cantón del cantón Tiwintza.

Las estrategias para llevar a cabo el manejo sustentable del agua de los pozos artesianos se enfocarán en lo siguiente:

- Prevención y Mitigación de Impactos
- Monitoreo Ambiental
- Educación Ambiental

Tabla 1-5: Propuesta de Prevención y Mitigación de Impactos

Propuesta de Prevención y Mitigación de Impactos
Descripción: Las actividades antropogénicas causadas por los moradores de las comunidades cercanas al lugar en el que se encuentra los pozos artesianos causan perturbación en la calidad del agua de los pozos a través de análisis de agua.
Objetivo: Minimizar los impactos antropogénicos en las vertientes cercanas a los pozos artesianos.
Responsable: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tiwintza.
Periodicidad: 1 año
Tácticas: <ol style="list-style-type: none">1. Identificar las actividades que se realicen cerca de los pozos artesianos.2. Socializar a través de reuniones periódicas con los pobladores.3. Explicar las causas y consecuencias ambientales que producen las actividades que realizan.4. Proponer nuevas técnicas para las actividades que realicen para minimizar el impacto ambiental.5. Incentivar a los demás pobladores a que contribuyan en el cuidado de la calidad del agua.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Tabla 2-5: Propuesta de Monitoreo Ambiental del Agua

Propuesta de Monitoreo Ambiental
Descripción: Realización de estudios de monitoreo del agua analizando los parámetros que no cumplieron los límites permisibles, para verificar si existe una mejora de la calidad luego de las socializaciones de la aplicación de nuevas técnicas que reduzcan el impacto hacia zonas cercanas a los pozos artesianos.
Objetivo: Verificar la calidad del agua de los pozos para garantizar la salud de los habitantes a los que se dotará el agua.
Responsable: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tiwintza. Departamento de Agua Potable del Cantón Tiwintza. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
Periodicidad: Semestral
Tácticas: <ol style="list-style-type: none">1. Recolección de las muestras de agua de los pozos artesianos.2. Análisis de los parámetros de interés.3. Comparación de los resultados actuales con los obtenidos anteriormente.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

Tabla 3-5: Propuesta de Educación Ambiental para las comunidades

Propuesta de Educación Ambiental
Descripción: Consiste en realizar charlas y capacitaciones a todos los habitantes en especial con aquellos que realizan actividades agrícolas y ganaderas que pueden influir en la calidad del agua de los pozos artesianos.
Objetivo: Fomentar una cultura ambiental con las personas para conservar los recursos no renovables y fortalecer el desarrollo sustentable.
Responsable: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tiwintza.
Periodicidad: Trimestral
Tácticas: <ol style="list-style-type: none">1. Realizar socializaciones en temas ambientales en cada comunidad.2. Explicar la importancia de la conservación del recurso hídrico.3. Describir las maneras de cómo evitar contaminar en los recursos naturales.

Realizado por: Pazato, Pamela, 2022.

CAPÍTULO IV

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se determinó la calidad del agua subterránea de pozos artesianos en tres comunidades de la parroquia San José de Morona, mediante el ICA-NSF, los valores son los siguientes; PT-1= 68,37; PT-2= 61,40 y PT-3= 62,83, pudiéndose observar resultados similares en los tres puntos, categorizando a los tres pozos con una calidad de agua regular.

Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico de los pozos artesianos mediante el índice de calidad de agua (ICA-NSF), según los resultados del software IQADData los parámetros que influenciaron en la calidad del agua son el pH, nitratos y coliformes fecales en los tres pozos artesianos.

La resultados de los coliformes fecales en los pozos artesianos son; (PT-1= 100; PT-2= 200; PT-3= 40) mg/L, indicando que en el PT-2 existe mayor presencia de coliformes y en el PT-3 menor cantidad, la presencia de coliformes fecales en el agua influye de forma directa sobre la salud humana, las cuales provocan enfermedades diarreicas y son la principal causa de mortalidad y morbilidad en niños menores de 5 años (Martínez, 2013, pp. 21-42).

Se zonificó la calidad del agua de los pozos artesianos de las tres comunidades, calificando al agua como de calidad REGULAR ya que todos obtuvieron un valor de 0,51 a 0,70 según su clasificación del ICA-NSF, pero obtuvieron valores distintos; el PT-1 con el mayor valor de 68,37 seguido del PT-3 con 62,83 y por último el PT-2 con un valor de 61,40.

6.2. Recomendaciones

Debido a las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en estas comunidades es importante realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los pozos para establecer la variación de los parámetros y aplicar un adecuado tratamiento previo al abastecimiento humano.

Desarrollar campañas de concientización a los habitantes de las comunidades sobre la importancia de las fuentes hídricas, así como promover el cuidado y protección de los mismos.

Aplicar técnicas sustentables y sostenibles en la agricultura y ganadería para mitigar la contaminación hacia los pozos artesianos.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tiwintza deberá dotar de pozos sépticos en las comunidades ya que no cuentan con redes de alcantarillado cumpliendo con las técnicas de diseño establecidas en la normativa.

Realizar un previo tratamiento del agua subterránea antes de ser distribuida a los hogares, aplicando la precloración en dosis inferiores según la normativa.

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN HERRERA, María; MARTÍN ALARCÓN, Daniel; GUTIÉRREZ, Mélida; REYNOSO CUEVAS, Liliana; MARTÍN DOMÍNGUEZ, Alejandra; OLMOS Márquez, Mario; & BUNDSCHUH, Joche. "Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico". *Science of The Total Environment* [en línea]. 2019, (México), 698, pp. 1-9. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 134168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>

ALIDA GARCÍA, Belkis & AGNELLI FAGGIOLI, Alizia. "Problemática acuífera en el contexto sudamericano del siglo XXI". *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* [en línea], 2018, (Ecuador), 1 (3), pp. 103-110. [Consulta: 12 mayo 2022] Disponible en: <http://remca.umet.edu.ec/index.php/>

ALTAMIRANO, Milton. "*Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia san José de Morona*" [en línea]. Morona – Ecuador: 2015. [Consulta: 6 marzo 2022]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplustiagnostico/1460017500001_Diagnostico_PDyOT_SJM_21-10-15_26-10-2015_11-00-06.pdf

ARIAS FERNÁNDEZ, Yessenia & TIQUILLAHUANCA MECHÁN, Yuliana. Aplicación del sistema TOHA para el tratamiento de riles generados en la planta Agromar Industrial S.A. Sullana-2012 (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Señor de Sipán, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo. Pimentel-Perú, 2018, pp. 1-117. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5770>

ARIZABALO, Rubén & DÍAZ, Georgina. "La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos". *Revista ResearchGate* [en línea]. 2017, pp. 1- 35. [Consulta: 5 junio 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/316004500>

ARMIENTA, M. & SEGOVIA, N. "Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico". *Environmental Geochemistry and Health* [en línea], 2008, 30 (4), pp. 345-353. [Consulta: 19 junio 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9167-8>

ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. *Constitución de la República del Ecuador* [en línea]. Quito – Ecuador: 2008. [Consulta: 2 junio 2022] Disponible en: <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la->

Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. *Ley orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del Agua* [en línea]. Quito – Ecuador: 2014, pp. 1-43. [Consulta: 02 junio 2022] Disponible en: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

AVECILLAS, L. “Caracterización físico – químico del estero salado entre el puente de la avenida Kennedy y el puente 5 de junio efectuado en el periodo agosto – octubre del año 2012” (Tesis de grado) (Pregrado) [en línea]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil – Ecuador: 2013, pp. 1-116. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3502>

BANNING, A. “Geogenic arsenic and uranium in Germany : Large-scale distribution control in sediments and groundwater”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2020, (Alemania), 405, pp. 345-353. [Consulta: 19 julio 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124186.Article>

BAQUE, Mite; et al. “Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador”. *Ciencia UNEMI* [en línea], 2016, (Ecuador), 9 (20), pp. 109-117. [Consulta: 5 junio 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>

BAUDER, J.; & SIGLER, A. “Coliforme Total y la Bacteria *E. coli*”. *Northern Plains & Mountains Programa Regional de Agua—Iniciativa de Agua Potable (Hojas de datos y videos)* [en línea], 2012, pp. 1-2. [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Coliform_Ecoli_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf

BAUDER, J.; & SIGLER, A. “Alcalinidad , pH y Sólidos Disueltos Totales”. *Northern Plains & Mountains* [en línea], 2014, pp. 8. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%2012-11-15-SP.pdf

BEITA, Wilson & BARAHONA, Marco. “Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica”. *UNED Research Jorunal / Cuadernos de Investigación UNED* [en línea], 2008, (San José - Costa Rica), pp. 157-179. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>

BEN, Adilson; et al. “DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA”. *Caderno De Pesquisa* [en línea], 2012, (Brasil), 24 (1), pp. 69-77. [Consulta: 25 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.17058/cp.v24i1.4398>

BOLAÑOS, A; et al. “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”. *Tecnología en Marcha* [en línea], 2017, (Costa Rica), 30(4), pp. 15-27. [Consulta: 13 marzo 2022]. ISSN 0379-3982. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

BUNDSCHUH, J; et al. “Arsenic in Latin America : New findings on source , mobilization and mobility in human environments in 20 countries based on decadal research 2010-2020”. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [en línea], 2021, (América Latina), 51 (16), pp. 1727-1865. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 1064-3389. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1770527>

CAMACHO, A., & QUIMIS, F. Estudios de la potabilización de fuentes subterráneas que contengan concentraciones de sólidos disueltos, que excedan a lo indicado por la norma INEN 1108 (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Guayaquil – Ecuador: 2022, pp. 1-157. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60475>

CAO, Yang: et al., “Science of the Total Environment Decoding the dramatic hundred-year water level variations of a typical great lake in semi-arid region of northeastern Asia”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2021, (China), 770, pp. 1-13. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145353>

CASTILLO, S.; et al. “Evaluación de la calidad de aguas subterránea de la parroquia La Peaña, provincia El Oro, Ecuador”. *UNEMI* [en línea], 2019, (Ecuador), 12 (31), pp. 64-73. [Consulta: 8 marzo 2022]. ISSN 2528-7737. Disponible en: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/903/909>

CASTRO, M.; ALMEIDA, J.; FERRER, J. & DIAZ, D. “Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global”. *Ingeniería Solidaria* [en línea], 2014, (Colombia), 10 (17), pp. 11-124. [Consulta: 14 marzo 2022]. ISSN 1900-3102. Disponible en: <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

CERÓN, L.; et al. “Groundwater: Trends and scientific development [Agua subterránea: Tendencias y desarrollo científico”. *Información Tecnológica* [en línea], 2021, (Colombia), 32 (1), pp. 47-56. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISSN 0718-0764. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>

CEVALLOS, W. Diseño hidráulico de una captación de agua para consumo humano en el sitio Mamey Clorado, cantón Bolívar – Manabí (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Técnicas. Manabí – Ecuador: 2019, pp. 1-104. [Consulta: 25 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2269>

CHULLUNCUY, N. Tratamiento de agua para consumo humano (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima – Perú: 2004, pp. 153-224. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>

COLLAZO, M., & MONTAÑO, J. *Manual de Agua Subterránea* [en línea]. Montevideo – Uruguay: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2012. [Consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/manual_de_agua_subterranea-ilovepdf-compressed.pdf

COUTO, C.; et al. “Microbial contamination of groundwater in a swine fertigation area”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [en línea], 2018, (Brasil), 23(42), pp. 1-12. [Consulta: 26 julio 2022]. ISSN 2318-0331. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170129>

CURILLO, L. Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Recursos Naturales. Cuenca – Ecuador: 2017, pp. 1-115. [Consulta: 7 agosto 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14968/1/UPS-CT007384.pdf>

DALAI, C; et al. “Rice Husk and Sugarcane Baggase Based Activated Carbon for Iron and Manganese Removal”. *Aquatic Procedia* [en línea], 2015, (Icwrcoe), 4, pp. 1126-1133. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 2214-241X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.143>

ESPAÑA, L.; et al. *Demanda Química y Biológica de oxígeno* [en línea]. Universidad del Valle, 2017. Disponible en: https://www.academia.edu/34926480/Demanda_Quimica_y_Biologica_de_oxigeno

FALCÓN, A.; et al. “Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2017, (México), 36(1), pp. 39-48. [Consulta: 29 julio 2022]. ISSN 0187-5779. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.316>

FONTALVO, F. & TAMARIS, C. “Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF”. *Intrópica* [en línea], 2018, (Colombia), 13 (2), pp. 1-101. [Consulta: 11 julio 2022]. ISSN 2389-7864. Disponible en: <https://doi.org/10.21676/23897864.2510>

FOSTER, S; et al. *Protección de la Calidad del Agua Subterránea* [en línea]. Países Bajos: The World Bank, 2003. [Consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1596/0-8213-4951-1>

FUENTES, J. “Aguas Subterráneas”. *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], 2017, (España), 110 (9), pp. 1689-1699. [Consulta: 14 marzo 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=203295>

FUNDACIÓN DE SANIDAD. *Índices de Calidad de Agua* [blog]. [Consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <file:///C:/Users/PAME/Desktop/tesis/anteproyecto/doc%20y%20arti/33.-%20Indice%20de%20calidad%20de%20agua%20FUNDACI%C3%93N%20DE%20SANIDAD.pdf>

GONZÁLES, A. Evaluación de la Calidad de Agua captada para el abastecimiento a la ciudad de Baños de Agua Santa mediante el ICA-NSF (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Baños de Agua Santa – Ecuador: 2019, pp. 1-13. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18145>

GONZÁLEZ, V.; et al. “Aplicación de los Índices De Calidad De Agua NSF, DINIUS y BMWP”. *Revista Gestión y Ambiente* [en línea], 2013, 16(1), pp. 97-108. [Consulta: 25 junio 2022]. ISSN 0124-177X. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/33902/1/33863-170537-1-PB.pdf>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos* [en línea]. Quito – Ecuador: 2011. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiWwdTLt_n7AhVKRjABHb5DDkIQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.normalizacion.gob.ec%2Fbuzon%2Fnormas%2F1108.pdf&usg=AOvVaw0XUk4z56UTfD-Nd2S61DTB

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *NTE INEN 2169. Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras* [en línea]. Quito – Ecuador: 2013. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjVwqzFuPn7AhVKSTABHWogBbwQFnoECAgQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.trabajo.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FNTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION%25C3%2593N-DE-MUESTRAS.pdf%3F42051&usg=AOvVaw34jDlpowYJMIvldx_iNWyS

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *NTE INEN 2176. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo* [en línea]. Quito – Ecuador: 2013. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiF4Z_fuPn7AhUaTTABHQc3BAcQFnoECBYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.trabajo.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FNTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%25C3%2589CNICAS-DE-MUESTREO.pdf%3F42051&usg=AOvVaw2KWx2nhvsNo666_OF8yFee

JARRÍN, Andrea; et al. “Evaluación del riesgo a la contaminación de los acuíferos de la Reserva Biológica de Limoncocha, Amazonía Ecuatoriana”. *Revista Ambiente e Agua* [en línea], 2014, 90 (3), pp. 445-458. [Consulta: 20 julio 2022]. ISSN 1980-993X. Disponible en: <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

KUMAR, Janani; et al. “Applied Surface Science Functionalization of zigzag graphene nanoribbon with DNA nucleobases-A DFT study”. *Applied Surface Science* [en línea], 2019, 496, pp. 1-7. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 0169-4332. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.143667>

LUJÁN, N.; et al. “Microbiological quality and uses of groundwater in the agricultural farms in the central-south area of Córdoba, Argentina”. *Revista Internacional de Contaminación*

Ambiental [en línea], 2019, 35 (4), pp. 839-848. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 0188-4999. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.06>

MAFLA, F. “Sistemas de contención de lixiviados en rellenos sanitarios y su efecto en la contaminación de aguas subterráneas”. *Revista UNIMAR* [en línea], 2007, 25 (1), pp. 23-35. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 0120-4327. Disponible en: <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/unimar/article/view/329>

MAMANI A.; et al. “pH del agua potable que consumen estudiantes del segundo año de la carrera de medicina, Universidad Mayor de San Andrés”. *Cuadernos Hospital de Clínicas* [en línea], 2018, 59 (2), pp. 36-39. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 1562-6776. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/chc/v59n2/v59n2_a05.pdf

MAMANI, Edwin. *Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea* [blog]. Slideshare, 2014. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/henrycr80/propuesta-calidad-agua-subterranea>

MARADIAGA, M; et al. *Agua para la producción* [en línea]. Managua – Nicaragua: Catholic Relief Services, 2015. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/97441>

MARCÓ, Leandro; et al. “La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay”. *Higiene y Sanidad Ambiental* [en línea], 2004, 82 (4), pp. 72-82. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

MARTÍNEZ, F. Determinación de coliformes fecales y totales en el agua de consumo humano y su relación con enfermedades diarreicas agudas investigados en la escuela Nicolás Martínez de la parroquia San Bartolomé de Pinllo en el período marzo 2013 – agosto 2013 (Trabajo de Investigación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias en la Salud. Ambato – Ecuador: 2019, pp. 1-97. [Consulta: 7 agosto 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/7664>

MARTÍNEZ, M.; et al. “Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal”. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2020, 19 (1), pp. 15-

24. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 1657-4583. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>

MÉNDEZ, P.; et al. “Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona”. *Ciencias Técnicas y Aplicadas* [en línea], 2020, 6 (2), pp. 734-746. [Consulta: 1 marzo 2022]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1245>

MENÉNDEZ, C. & PÉREZ, J. *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales* [en línea]. La Habana – Cuba: Félix Varera Universitaria, 2015. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/33133551/Procesos_para_el_tratamiento_biol%C3%B3gico_de_aguas_residuales_industriales_Carlos_M_Guti%C3%A9rrez

MINISTERIO DE AMBIENTE DEL PERÚ. *Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados muestreo de aguas subterráneas* [blog]. 2008. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-buenas-practicas-investigacion-sitios-contaminados-muestreo>

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA DEL ECUADOR. *Subsistema de vigilancia sive- alerta enfermedades transmitidas por agua y alimentos Ecuador* [blog]. 2020. [Consulta: 8 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Etas-SE-18.pdf>

UNICEF INEN. *Agua, Saneamiento e Higiene: medición de los ODS en Ecuador* [blog]. 2018. [Consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/informes/agua-saneamiento-e-higiene>

MOLINA, L. Propuesta De Uso Del Agua Subterránea Del Distrito De Uraca-Corire Para El Consumo Humano Mediante La Identificación De Los Parámetros Físicoquímicos Y Microbiológicos (Trabajo de Investigación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Arequipa – Perú: 2018, pp. 1-134. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5750/QUmoguly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MONTESDEOCA, J. Diagnóstico de la Calidad de Agua en Pozos Excavados de Tres Comunidades del Valle del Yeguaré, Honduras (Trabajo de Investigación) (Pregrado) [en línea]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.

Zamorano – Honduras. 2009, pp. 1-44. [Consulta: 25 julio 2022]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/items/ce3f0107-4fb0-4433-9373-58e86f0213a9>

MORALES, N.; et al. “Arsenic in Latin America: A critical overview on the geochemistry of arsenic originating from geothermal features and volcanic emissions for solving its environmental consequences”. *Science of Total Environment* [en línea], 2018, 716 (2), pp. 1-34. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135564>

MOREIRA, Á. “Consideraciones Actuales Sobre Ablandamiento Del Agua”. *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2016, 2 (4), pp. 334-345. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexCienciasnaturalesComunicaciónCorta>

MORELL, I. & RENAU, A. “Contaminación de aguas subterráneas. Algunos ejemplos” *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra* [en línea], 2019, 27 (1), pp. 3-17. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 1132-9157. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7103784>

MUKHERJEE, I. & SINGH, U. “Environmental fate and health exposures of the geogenic and anthropogenic contaminants in potable groundwater of Lower Ganga”. *Geoscience Frontiers* [en línea], 2022, 13 (3), pp. 1-15. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISSN 1674-9871. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101365>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* [blog]. Organización Mundial de la Salud, 2019. [Consulta: 13 marzo 2022]. ISBN 9789243549958. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ORDOÑEZ, J. 2011. “Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas - Acuíferos”. *Sociedad Geográfica de Lima* [en línea], 2011, pp. 2-44. [Consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/25436>

PACHECO, J.; et al. “Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas”. *Ingeniería* [en línea], 2003, 7 (2), pp. 47-54. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 1674-9871. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770204>

PASTÉN, P.; et al. *CALIDAD DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS: Riesgos y Oportunidades*

[blog]. IANAS & UNESCO, 2018. [Consulta: 2 julio 2022]. ISBN 9786078379330. Disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-lasAm%C3%A9ricas_2019.pdf

PEDROZO, A. “Uso sustentable del agua subterránea: llave de acceso a la conservación de los ríos”. *Respectivas IMTA* [en línea], 2021, 2 (26), pp. 1-3. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-26>

FIGUAVE, J.; et al. “Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil”. *Redalyc* [en línea], 2019, 47 (2), pp. 154-173. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 2477-9628. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3556>

POSADA, E.; et al. “Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. aplicación al caso del río Medellín, en el valle de Aburrá en Colombia”. *DYNA (Colombia)* [en línea], 2013, 80 (181), pp. 192-200. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49628728021>

PRICE, M.; et al. *Agua subterránea* [en línea]. Área Ciencias de la Tierra, 2003. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISBN 9681855604. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Agua_subterránea.html?id=LGvkAAAACAAJ&redir_esc=y

RAFFO, E. & RUIZ, E. “Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno”. *Journal of the American Chemical Society* [en línea], 2014, 106 (22), pp. 71-80. [Consulta: 28 julio 2022]. ISSN 1516-9146. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>

RAHMAN, M.; et al. “Assessment of melamine in different water samples with ZnO-doped Co₃O₄ nanoparticles fabricated glassy carbon electrode by differential pulse voltammetry”. *Chemistry An Asian Journal* [en línea], 2021, 16 (13), pp. 1820-1831. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 1516-9146. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/asia.202100370>

RAMÍREZ, F.; et al. “Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica”. *Agronomía Mesoamericana* [en línea], 2014, 25 (2), pp. 337-345. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 2215-3608. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15441>

REYES, V.; et al. “Fluoride and arsenic in an alluvial aquifer system in Chihuahua, Mexico: Contaminant levels, potential sources, and co-occurrence”. *Water, Air, and Soil Pollution* [en

[en línea], 2013, 224 (2), pp. 2-15. [Consulta: 19 junio 2022]. ISSN 1573-2932. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1433-4>

RODRÍGUEZ, S.; et al. “Microbiological presence indicators of water for human consumption in San Cosme (Corrientes, Argentina)”. *Revista Veterinaria* [en línea], 2018, 29 (1), pp. 9-12. [Consulta: 26 julio 2022]. ISSN 1669-6840. Disponible en: <https://doi.org/10.30972/vet.2912779>

SAHUQUILLO, A. “La importancia de las aguas subterráneas”. *Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea], 2018, 103 (1), pp. 97-114. [Consulta: 13 marzo 2022]. ISSN 1137-2141. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3729107>

SAHUQUILLO, A.; et al. *La gestión de las aguas subterráneas* [blog]. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://rac.es/ficheros/doc/00317.pdf>

SANTA CRUZ, K. Índice de calidad de agua de tres pozos artesianos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. Tingo María – Perú. 2013, pp. 1-134. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/365>

SHAJI, E.; et al. “Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula”. *Geoscience Frontiers* [en línea], 2021, 12 (3), pp. 1-78. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 1137-2141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.015>

SILVA, J.; et al. “Calidad química del agua subterránea y superficial en la cuenca del Río Duero, Michoacán”. *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], 2013, 4 (5), pp. 127-146. [Consulta: 29 julio 2022]. ISSN 2007-2422. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500009

SOTOMAYOR, F.; et al. “Determinación de la calidad microbiológica de las aguas de pozo artesiano de distritos de los departamentos Central, Cordillera y municipio Capital”. *Mem. Inst. Investig. Cienc. Salud* [en línea], 2013, 11 (1), pp. 5-14. [Consulta: 2 junio 2022]. ISSN 1812-9528. Disponible en: <http://archivo.bc.una.py/index.php/RIIC/article/view/111>

TACURI, R. Determinación de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados, Juliaca, Puno, 2019 (Trabajo de Investigación) (Maestría) [en línea]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Arequipa -

Perú. 2018, pp. 1-87. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8842/UPMtaror.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TORRES, P.; et al. “Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano”. *Ingeniería e Investigación* [en línea], 2010, 30 (3). pp. 86-95. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISSN 0120-5609. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092010000300007

VALDERRAMA, E.; et al. “Calidad Del Agua De Tres Pozos De La Zona Centro Del Acuífero Cuautla–Yautepec, Morelos, México”. *BIOCYT biología, ciencia y tecnología* [en línea], 2010, 3 (11), pp. 159-175. [Consulta: 3 agosto 2022]. ISSN 2007-2082. Disponible en: <http://biblat.unam.mx/es/revista/biocyt-biologia-ciencia-y-tecnologia/articulo/calidad-del-agua-de-tres-pozos-de-la-zona-centro-del-acuifero-cuautlayautepec-morelos-mexico>

YEPES, V. *Conceptos básicos del agua en medio poroso* [blog]. [Consulta: 5 junio 2022]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/03/22/conceptos-basicos-del-agua-en-medio-poroso/#:~:text=Porosidad%3A%20porcentaje%20del%20volumen%20total,se%20denomina%20%E2%80%9Cporosidad%20eficaz%E2%80%9D>

YOGENDRA, K. & PUTTAIAH, E. “Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Karnataka”. *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference: 342-346 Determination* [en línea], 2008, 1 (3). pp. 342-346. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISSN 1577-4511. Disponible en: <https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Lic. Jonathan Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

ANEXOS

ANEXO A: TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS IN SITU



Fig.1. Purga de pozo



Fig.2. Preparación de los equipos



Fig.3. Toma de muestra microbiológico



Fig.4. Medición de los parámetros in situ

ANEXO B: EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA TOMA DE MUESTRAS



Fig.1. Bomba de agua



Fig.2. Multiparamétrico para medir la temperatura y oxígeno disuelto



Fig.3. GPS Garmin



Fig.4. Ph-metro



Fig.5. Hielera



Fig.6. Balde y manguera

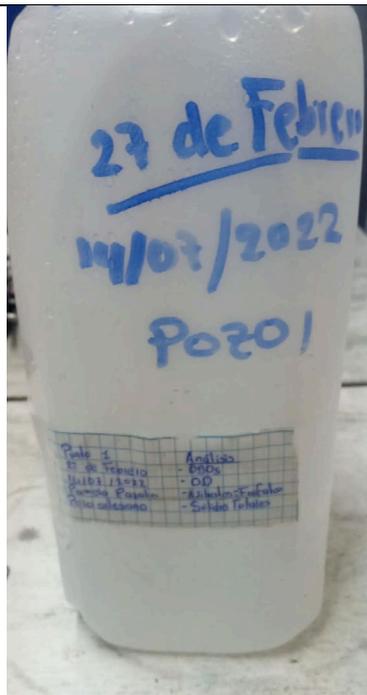


Fig.7. Recipiente de polietileno con su etiqueta

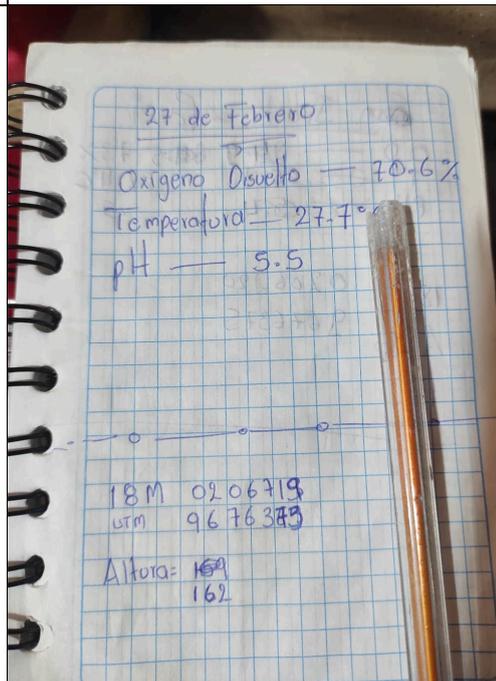


Fig.8. Libreta de apunte y esfero



Fig.9. Recipiente para muestra biológica



Fig.10. Guantes quirúrgicos

ANEXO C: RESULTADOS DEL SOFTWARE IQADATA

Fig.1. Instalación del software

Fig.2. Resultado del PT-1

Fig.3. Resultado del PT-2

Fig.4. Resultado del PT-3

ANEXO D: PROFORMA Y RESULTADOS DEL LABORATORIO



PROFORMA DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Riobamba, 01 de julio del 2022

DATOS DE CLIENTE

Nombre Cliente/ Solicitante	Srta. Pamela Pazato
Localidad	Morona Santiago

Tabla 1 Descripción de ensayos

ITEM	PARAMETROS	UNDADES	COSTO UNITARIO
1	Nitratos	mg/L	6.00
2	Fosfatos	mg/L	6.00
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	12.00
4	Sólidos Totales	mg/L	4.00
5	Turbiedad	UTN	2.00
6	Coliformes totales	UFC/100 mL	12.00
Sub-Total			42.00
ImpORTE 12% IVA			5.04
Total			47.04

ATENAMENTE.

Dra. Gina Álvarez Reyes
RESPONSABLE TÉCNICO

Fig.1. Proforma de análisis de laboratorio



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha de recolección de muestras: 13 de julio del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Pamela Pazato
Tipo de muestras: Agua subterráneas Pozo 1 Comunidad 27 de Febrero
Localidad: Parroquia San José, Cantón Tiwinza, Morona Santiago

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Procedimiento	Resultados
Turbiedad	NTU	Nefelométrico	2130-B	0.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Biodigestión-Volumétrica	5210-B	0.59
Nitratos	mg/L	Colorimétrico	4500-NO ₃ -E	2.4
Fosfatos	mg/L	Colorimétrico	4500-P-D	0.03
Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico	2540-B	66.0
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Siembra en masa	9222-E	100

Observaciones:

Atentamente,

GINA ELIZABETH ALVAREZ REYES

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Fig.2. Resultado del PT-1 27 de Febrero



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha de recolección de muestras: 13 de julio del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Pamela Pazato
Tipo de muestras: Agua subterráneas Pozo 2 Comunidad Junak
Localidad: Parroquia San José de Morona Santiago

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Procedimiento	Resultados
Turbiedad	NTU	Nefelométrico	2130-B	3.47
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Biodigestión-Volumétrica	5210-B	2.1
Nitratos	mg/L	Colorimétrico	4500-NO ₃ -E	6.4
Fosfatos	mg/L	Colorimétrico	4500-P-D	0.05
Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico	2540-B	116.0
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Siembra en masa	9222-E	200

Observaciones:

Atentamente,

GINA ELIZABETH ALVAREZ REYES

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Fig.3. Resultado del PT-2 Juank



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha de recolección de muestras: 13 de julio del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Pamela Pazato
Tipo de muestras: Agua subterráneas Pozo 3 Comunidad San Pedro
Localidad: Parroquia San José de Morona Santiago

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Procedimiento	Resultados
Turbiedad	NTU	Nefelométrico	2130-B	3.25
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Biodigestión-Volumétrica	5210-B	1.0
Nitratos	mg/L	Colorimétrico	4500-NO ₃ -E	6.9
Fosfatos	mg/L	Colorimétrico	4500-P-D	0.07
Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico	2540-B	87.0
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Siembra en masa	9222-E	40

Observaciones:

Atentamente,

GINA ELIZABETH ALVAREZ REYES

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Fig.4. Resultado del PT-3 San Pedro



epoch

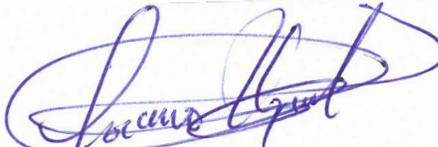
Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 31 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Amanda Pamela Pazato Quezada
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

x 

DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION

 Ing. Jhonatan Parreño Ugullas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECAS

2469-DBRA-UTP-2022²