



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ESTUDIO ISOTÓPICO E HIDROQUÍMICO DE
PRECIPITACIÓN, AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA DE
LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA, EN VARIACIONES
ESTACIONALES”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: SAMANTHA VANESSA GÓMEZ MORALES

BRYAN JHOSUE LOMBEIDA ARMIJOS

DIRECTOR: Ing. LUIS MIGUEL SANTILLÁN QUIROGA, MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Samantha Vanessa Gómez Morales & Bryan Jhosue Lombeida Armijos**

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.

Nosotros, SAMANTHA VANESSA GÓMEZ MORALES y BRYAN JHOSUE LOMBEIDA ARMIJOS, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de octubre del 2022



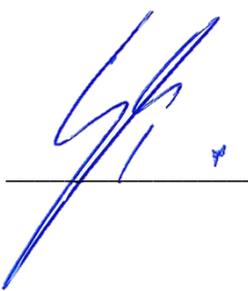
Samantha Vanessa Gómez Morales
180445242-1



Bryan Jhosue Lombeida Armijos
020205426-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, “**ESTUDIO ISOTÓPICO E HIDROQUÍMICO DE PRECIPITACIÓN, AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA, EN VARIACIONES ESTACIONALES**”, realizado por los señores: **SAMANTHA VANESSA GÓMEZ MORALES Y BRYAN JHOSUE LOMBEIDA ARMIJOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-10-20
Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga, MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-10-20
Ing. Juan Carlos González García, PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-10-20

DEDICATORIA

El presente trabajo de Titulación lo dedico principalmente a Dios por haberme dado la fortaleza, sabiduría y perseverancia para haber llegado hasta esta etapa. A mis padres, Fernando y Roxana por ser el pilar más importante en mi vida, por confiar siempre en mí, este logro se los debo totalmente a ustedes, todo lo que soy y seré es gracias a ustedes. A mi hermano, Ricardo, mi compañero de vida, quien ha sido mi apoyo constante durante la vida académica. A la persona que no se encuentra físicamente conmigo, Alex, quien fue la razón principal de alcanzar esta meta, también a Valentina y Joaquín quienes son mi motivación constante para no rendirme en mis metas. A toda mi familia y amigos por estar en cada paso importante de mi vida. Finalmente, a mi compañero de tesis Bryan, quien ha sido un apoyo en esta etapa y a lo largo de la vida universitaria, demostrando sus valores como persona y profesional.

Samantha

A mi madre Lorena por ser mi fuente de inspiración y motor de mi vida, porque gracias a su a ejemplo de lucha y perseverancia he podido lograr cada meta propuesta con el objetivo de que este siempre se sienta orgullosa de mí.

Bryan

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la escuela de Ciencias Químicas, por ser nuestra alma mater durante todos estos años, brindándonos el conocimiento necesario para nuestra vida profesional.

A nuestras familias, en especial a nuestros padres que han sido el motor principal para el cumplimiento de nuestras metas y objetivos a lo largo de nuestra formación académica, siendo el pilar fundamental en nuestras vidas ya que han depositado en nosotros total confianza y cariño.

Al Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga, director de tesis y amigo quién nos brindó la oportunidad de ampliar nuestro conocimiento mediante la investigación y el cuidado ambiental, por su guía, coordinación y asesoría para poder hacer de este proceso un trabajo exitoso.

A la Dra. Gina Álvarez técnica del laboratorio de Calidad del agua de la ESPOCH, por orientarnos con sus conocimientos técnicos y profesionales durante los análisis de los parámetros hidroquímicos.

A cada una de las personas quienes nos acompañaron en esta etapa, siendo nuestro apoyo para seguir adelante haciendo que nuestro sueño se cristalice.

Samantha & Bryan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases Teóricas.....	5
1.2.1. Cuenca hidrográfica.....	5
1.2.2. Partes de una cuenca hidrográfica	6
1.2.3. Cuencas hidrográficas según su balance	7
1.2.4. Clasificación de las cuencas	7
1.2.5. Recurso hídrico.....	8
1.2.6. Ciclo del agua	9
1.2.7. Agua subterránea.....	10
1.2.8. Agua superficiales.....	10
1.2.9. Agua de precipitación.....	11
1.2.10. Contaminación hídrica	11
1.2.11. Gestión integral del recurso hídrico.....	12
1.2.12. Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico	12
1.2.13. Características Hidroquímicas	13
1.2.14. Software Diagrammes	14
1.2.15. Diagrama de Piper	14
1.2.16. Temperatura.....	15
1.2.17. Conductividad Eléctrica.....	15
1.2.18. Sólidos Totales Disueltos (TDS).....	15
1.2.19. Potencial De Hidrógeno (ph).....	16
1.2.20. Alcalinidad	16
1.2.21. Acidez	16

1.2.22.	<i>Trazadores ambientales</i>	16
1.2.23.	<i>Isótopos</i>	17
1.2.24.	<i>Efectos isotópicos observados en la precipitación</i>	17
1.2.25.	<i>Isótopos estables</i>	18
1.2.26.	<i>Procesos de isótopos estables en el ciclo del agua</i>	18
1.2.27.	<i>Relaciones isotópicas</i>	19
1.2.28.	<i>Fraccionamiento isotópico</i>	19
1.2.29.	<i>Línea meteórica global</i>	20
1.2.31.	<i>Línea meteórica local</i>	21
1.2.32.	<i>Matlab</i>	21
1.2.33.	<i>Sistema de Información Geográfica</i>	22
1.2.34.	<i>Software ArcGis</i>	23
1.3.	Base Legal	24
1.3.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	24
1.3.2.	<i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua</i>	24

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLOGICO	25
2.1.	Tipo de Investigación	25
2.2.	Diseño de la Investigación	25
2.2.1.	<i>No experimental</i>	25
2.3.	Localización del área de estudio	27
2.4.	Población de estudio	28
2.5.	Tamaño de la muestra	28
2.6.	Método de muestreo	28
2.7.	Técnica de recolección de datos	29
2.8.	Uso de suelo del área de estudio	29
2.8.	Tratamiento de los datos hidroquímicos	31
2.8.1.	<i>Recolección de muestras</i>	31
2.8.2.	<i>Análisis estadístico</i>	33
2.8.3.	<i>Metodología Hidroquímica</i>	34
2.8.3.1.	<i>Mapa de isoconcentración</i>	34
2.8.3.2.	<i>Diagrama de Piper</i>	35
2.8.3.3.	<i>Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico</i>	36
2.9.	Tratamiento de los datos isotópicos	36

2.9.1.	<i>Recolección de muestras</i>	37
2.9.2.	<i>Metodología isotópica</i>	38
2.9.2.1.	<i>Recta meteórica</i>	38

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS	39
3.1.	Análisis Hidroquímico	39
3.1.1.	<i>Calidad de los datos hidroquímicos</i>	39
3.1.1.1.	<i>Clasificación y evolución hidroquímica</i>	41
3.2.	Análisis isotópicos	59
3.2.1.	<i>Recta meteórica local</i>	62
3.2.2.	<i>Conductividad electrolítica vs oxígeno 18</i>	64
3.2.3.	<i>Altura vs oxígeno 18</i>	66

	CONCLUSIONES	68
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	71
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Usos del agua en el Ecuador.....	10
Tabla 2-1.	Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico.....	13
Tabla 1-2.	Matriz de operacionalización de objetivos	26
Tabla 2-2.	Datos de elevación y tipo de agua para la hidroquímica.....	32
Tabla 3-2.	Método de detección y Laboratorios.....	33
Tabla 4-2.	Puntos colectores de lluvia.....	37
Tabla 1-3.	Valores extremos medidas de tendencia central y variabilidad (época seca).....	39
Tabla 2-3.	Valores extremos medidas de tendencia central y variabilidad (época lluviosa)	39
Tabla 3-3.	Resultados sólidos totales disueltos (TDS).....	43
Tabla 4-3.	Resultados pH	47
Tabla 5-3.	Resultados conductividad eléctrica.....	51
Tabla 6-3.	Resultados Cloro.....	55
Tabla 7-3.	Tabla de valores isotópicos y fecha de muestreo (época seca)	59
Tabla 8-3.	Tabla de valores isotópicos y fecha de muestreo (época lluviosa).....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Partes de una cuenca hidrográfica	6
Figura 2-1.	Cuenca hidrográfica según su balance	7
Figura 3-1.	Clasificación de las cuencas hidrográficas	7
Figura 4-1.	Ciclo del agua.....	9
Figura 5-1.	Diagrama de Piper	14
Figura 6-1.	Línea meteórica global.....	20
Figura 7-1.	Correlación entre Oxígeno 18 y Deuterio de las muestras de agua subterránea de las campañas de campo 2016-2017 y 2018-2019.....	21
Figura 1-2.	Mapa localización del área de estudio.....	27
Figura 2-2.	Mapa uso de suelo del área de estudio	30
Figura 3-2.	Mapa puntos hidroquímicos.....	31
Figura 4-2.	Metodología para mapas de Isoconcentración.....	34
Figura 5-2.	Metodología para diagrama de Piper	35
Figura 7-2.	Mapa puntos colectores de lluvia.....	37
Figura 8-2.	Metodología para recta meteórica	38
Figura 1-3.	Variación temporal y espacial de sólidos totales disueltos en agosto 2021	41
Figura 2-3.	Variación temporal y espacial de sólidos totales disueltos (TDS) en febrero 2022.....	42
Figura 3-3.	Variación temporal y espacial de pH en agosto 2021 (época seca)	45
Figura 4-3.	Variación temporal y espacial de pH en febrero 2022 (época lluviosa).....	46
Figura 5-3.	Variación temporal y espacial de conductividad eléctrica (E.C) en agosto 2021	49
Figura 6-3.	Variación temporal y espacial de conductividad eléctrica (E.C) en febrero 2022	50
Figura 7-3.	Variación temporal y espacial de cloro en agosto 2021 (época seca).....	53
Figura 8-3.	Variación temporal y espacial de cloro en febrero 2022 (época lluviosa)	54
Figura 9-3.	Diagrama de Piper de Aniones y Cationes período 2021 (época seca).....	57
Figura 10-3.	Diagrama de Piper de Aniones y Cationes período 2022 (época lluviosa).....	58
Figura 11-3.	Recta meteórica local (época seca).....	62
Figura 12-3.	Recta meteórica local (época lluviosa).....	63
Figura 13-3.	Relación oxígeno 18 vs conductividad electrolítica (época seca)	64
Figura 14-3.	Relación oxígeno 18 vs conductividad electrolítica (época lluviosa)	65
Figura 15-3.	Relación isotópica, altura vs $\delta^{18}O$ (época seca).....	66
Figura 16-3.	Relación isotópica, altura vs $\delta^{18}O$ (época lluviosa)	67

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (ANIONES) DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN EL AÑO 2021 (ÉPOCA SECA)
- ANEXO B.** PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (CATIONES) DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN EL AÑO 2021 (ÉPOCA SECA)
- ANEXO C.** PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (ANIONES) DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN EL AÑO 2022 (ÉPOCA LLUVIOSA)
- ANEXO D.** PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (CATIONES) DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN EL AÑO 2022 (ÉPOCA LLUVIOSA)
- ANEXO E.** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN VARIACIONES ESTACIONALES
- ANEXO F.** POZOS EMAPAR MUESTREADOS EN VARIACIONES ESTACIONALES
- ANEXO G.** MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU
- ANEXO H.** TOMA DE MUESTRAS ANÁLISIS ISOTÓPICOS
- ANEXO I.** ANÁLISIS DE LABORATORIO
- ANEXO J.** MANTENIMIENTO DE COLECTORES DE LLUVIA

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo realizar un estudio isotópico e hidroquímico de las precipitaciones, aguas superficiales y subterráneas de la microcuenca del río Chibunga en variaciones estacionales. Se analizaron 29 muestras para los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (TDS), aniones y cationes, y 36 muestras para oxígeno 18 y deuterio, todas codificadas según el lugar de muestreo. Se obtuvieron valores de pH de 5.65-9.17 en época seca y 5.15-8.33 en época lluviosa, EC de 41-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época seca y 3.98-171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en época lluviosa, y TDS de 9.64 a 678.290 mg/L en época seca y 9.57 a 429.78 mg/L en época lluviosa, todos los valores están dentro de los límites permisibles. El gráfico de Piper reveló que la hidroquímica de las aguas subterráneas y superficiales estuvo dominada por los iones de calcio/magnesio/carbonato durante la estación seca y los iones de calcio/cloruro de magnesio/sulfato durante la estación de lluvias. Por otro lado, el análisis de las concentraciones isotópicas mostró que las regiones cercanas a la recarga exhibieron menores abundancias de isótopos estables en relación con las regiones cercanas a la descarga, siendo C9, C10 y H1, los puntos que mejor representaron la zona de recarga en las dos estaciones. Se concluyó que las variaciones en las concentraciones hidroquímicas se deben a procesos naturales o antrópicos provocados por los bajos niveles freáticos y la capacidad amortiguadora del agua dependiendo de la estación; Además, el agua de reposición proviene de la precipitación y deshielo del Volcán Chimborazo, la cual es transportada a varios puntos de la microcuenca por evaporación e infiltración. Se propone determinar los procesos de mezcla e intercambio de la microcuenca del río Chibunga.

Palabras clave: <ANÁLISIS ISOTÓPICO E HIDROQUÍMICO>, <AGUA SUPERFICIAL>, <AGUA SUBTERRÁNEA>, <PRECIPITACIÓN>, <ÉPOCA SECA>, <ÉPOCA LLUVIOSA> <MICROCUCENCA>, <RÍO CHIBUNGA >.



2115-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of the current research was to carry out an isotopic and hydrochemical study of precipitation, surface water and groundwater of Chibunga River micro-basin in seasonal variations. Twenty-nine samples for parameters related to pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), anions and cations were analyzed, as well as 36 samples for oxygen 18 and deuterium, coded according to the sampling location. pH values of 5.65-9.17 in dry season and 5.15-8.33 in rainy season, EC of 41-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in dry season and 3.98-171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in rainy season were obtained, while for TDS, values of 9.64 to 678.290 mg/L in dry season and 9.57 to 429.78 mg/L in rainy season were obtained. All these values were within the permissible limits. The Piper plot revealed the prevalence of calcium/magnesium/carbonate ions regarding groundwater and surface water hydrochemistry during the dry season and calcium/magnesium chloride/sulfate ions during the rainy season. On the other hand, the analysis of isotopic concentrations showed that regions near the river recharge reflected a lower abundance of stable isotopes related to the discharge regions, considering C9, C10 and H1 as the most representative points of the recharge zone during the two seasons. It was concluded that variations in hydrochemical concentrations are due to natural or anthropic processes caused by low phreatic levels and the buffering capacity of the water depending on the station. In addition, the recharge water comes from precipitation and snowmelt from the Chimborazo Volcano, which is transported to various points of the micro-basin through the evaporation and infiltration processes. It is proposed to determine the mixing and exchange processes of the Chibunga River micro-basin.

Keywords: <ISOTOPICAL AND HYDROCHEMICAL ANALYSIS>, <SURFACE WATER>, <GROUNDWATER>, <PRECIPITATION>, <DRY SEASON >, <RAINY SEASON> <MICRO-BASIN>, <CHIBUNGA RIVER>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesantez. Mgs.

0603289877

INTRODUCCIÓN

Entender el ciclo hidrológico ha tomado gran importancia en la región interandina, debido a que páramos ecuatorianos son considerados como fábricas de agua y al estar ubicados en zonas altas que se localizan entre las cotas de los 3.200 y los 4.700 msnm (metros sobre el nivel del mar) se convierten en espacios óptimos para la captación y almacenamiento de agua, siendo necesario para la gestión de estos conocer el comportamiento, características y factores externos que están presentes en las aguas subterráneas, superficiales, glaciales y de precipitación.

Varios estudios se han centrado en la hidrología superficial de la microcuenca del río Chibunga, constituyendo una necesidad imperante explorar el comportamiento hidrodinámico del agua subterránea, debido a que sus datos carecen de varios estudios previos y consecutivos, por ende, es necesario utilizar diferentes alternativas de investigación de trazadores isotópicos, que permitan evaluar las posibles fuentes de recarga natural o si estas se ven afectadas por algún tipo de contaminación.

Mediante el estudio de las propiedades hidroquímicas podemos identificar la calidad del agua caracterizando aniones (F^- , Cl^- , Br^- , HPO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+ , NH_4^+), temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Mientras que los marcadores isotópicos Deuterio (δ^2H) y Oxígeno-18 ($\delta^{18}O$) nos permiten conocer el movimiento del agua en la microcuenca, las posibles fuentes de recarga del agua subterránea, y la variación que tiene esta dependiendo del periodo del año.

Nuestro trabajo tiene como objetivo entender la circulación del agua en la microcuenca del Río Chibunga, mediante caracterización hidroquímica y marcadores isotópicos. Con esta información proponemos una herramienta útil para la mejora en la gestión integral del recurso hídrico que sustente la toma de decisiones a los gobiernos locales, y provinciales, favoreciendo el uso sostenible de la misma a la población y cuidado al medio ambiente.

Justificación

El Ecuador mediante la regulación del Ministerio del Ambiente, ha iniciado programas de control y cuidado en la calidad del agua, que permitan conocer el estado e índices de este recurso, interpretando la situación real y el grado de transformación de los ecosistemas acuáticos (Serrano Avalos, 2018; Secretaría General Iberoamericana, 2010).

El río Chibunga tiene su vertiente de nacimiento en las faldas del volcán Chimborazo y desciende por los páramos que se caracterizan por poseer un gran número de cuencas que nacen en las cumbres altas de la zona nevada (GAD Chimborazo, 2017). La zona de estudio cuenta con un área de 890 km^2 con diferentes usos de suelo como: tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y herbácea, zona antrópica, bosque, cuerpo de agua y otras tierras. Además, posee un clima frío glacial arriba de los 4600 msnm; entre los 3000 msnm predomina el clima de páramo (8°C) y a los 2000 msnm varía de mesotérmico húmedo a semihúmedo, con una temperatura promedio de 13°C (Gobierno Municipal del Cantón Riobamba, 2015, p.53-63). El recurso hídrico del Chibunga es de gran incidencia en el desarrollo de la ciudad de Riobamba, debido a que la atraviesa por 25 comunidades cercanas, convirtiéndolo en una de las vertientes de mayor grado de contaminación, causando un impacto negativo para el entorno natural (Veloz & Carbonel, 2018, p.13-26).

Por las razones expuestas, nuestra investigación tiene como objetivo estudiar el comportamiento isotópico e hidroquímico existentes en dicha microcuenca. Para el desarrollo del estudio se emplearon parámetros hidroquímicos como aniones (F^- , Cl^- , Br^- , HPO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Li^+ , NH_4^+), temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, que permiten evaluar el deterioro de la calidad del agua provocada por la contaminación natural y antropogénica en los distintos cuerpos de agua, de igual manera se utilizarán marcadores isotópicos como: Deuterio ($\delta^2\text{H}$) y Oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$), donde su concentración va a depender del tipo de fraccionamiento dentro de la microcuenca, localizando zonas de recarga, determinando el origen de las aguas subterráneas y la ruta del movimiento del agua (Khatri & Tyagi, 2015, p. 23-39; Valenzuela, & Palomares, 2013, p.56-66).

La investigación tiene un gran aporte bibliográfico y metodológico, porque el uso de parámetros hidroquímicos permite identificar las familias químicas del agua en función de sus componentes mayoritarios característicos, mientras que los trazadores isotópicos permiten comprender el ciclo hidrológico y zonas de recarga de la microcuenca en beneficio de la preservación, protección y mejora de la gestión integral del recurso hídrico, favoreciendo así a la población y al medio ambiente.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

- Realizar el estudio isotópico e hidro químicos de precipitación, agua superficial y subterránea de la microcuenca del río Chibunga, en variaciones estacionales.

Objetivos Específicos

- Evaluar la concentración y variabilidad de isótopos estables presentes en la microcuenca del Río Chibunga en diferentes épocas estacionales.
- Aplicar herramientas de Sistemas de Información Geográfica que permita mejorar el entendimiento y detalle del área de estudio.
- Identificar la calidad del agua de la microcuenca del Río Chibunga en estación seca y lluviosa.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En el Ecuador el agua beneficia a millones de personas directa o indirectamente, ya que es esencial para los distintos usos como la industria, agricultura y para satisfacer las necesidades del hombre. Además, al pasar el tiempo este se ha convertido en un recurso limitado, por lo que la calidad del agua se ha deteriorado constantemente, siendo importante que esta se encuentre en buenas condiciones cumpliendo con los parámetros establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108-2011.

Los acuíferos son ampliamente utilizados para el abastecimiento de agua y el desarrollo económico-social, por lo que el conocimiento del sistema hidrogeológico, en particular la fuente de agua subterránea, las zonas de recarga y el tiempo de residencia, es crucial para el correcto uso y manejo del agua (Carrión et al, 2021: pp.537). Campoverde y Fajardo (2018, pp. 98-108) mencionan que la recarga de los acuíferos depende exclusivamente de las lluvias. Su ausencia, junto con el aumento de poblaciones locales y variadas, dificulta la recuperación de los niveles freáticos a lo largo del tiempo. Además, la precipitación que se infiltra en el suelo puede provocar la disolución de materiales evaporíticos que pueden llegar al acuífero, aumentando la concentración de iones y afectando su calidad (Bear, et al, 1999, p.625; Slim, et al, 2018, p.1170-1182; Oude Essink, 2001, p.429-449).

Sánchez et al. (2015: pp.231-254) presenta una hidrología de isótopos estables y un análisis geoquímico en el interior del Pacífico Noroeste (PNW) de los EE. UU. Los sitios de estudio incluyen una variedad de gradientes climáticos, características geológicas y cuencas hidrográficas naturales y alteradas por el hombre. Las composiciones de isótopos exhibieron una fuerte estacionalidad dependiente de la temperatura. A pesar de esta variación estacional, la variación de $\delta^2\text{H}$ y $\text{O}18$ fue pequeña. Los resultados geoquímicos en las cuencas hidrográficas montañosas la química del agua fue más homogénea, mientras que en las cuencas agrícolas la variación temporal en la composición química fue más dinámica.

El estudio de isótopos estables mediante la variación de las lluvias en el Ecuador, empleando los datos obtenidos de la agencia internacional de energía atómica (IAEA) compararon los valores del mes de diciembre 2016 y enero 2017, basándose principalmente en la composición isotópica de la precipitación que son: temperatura, el efecto continental o de distancia, el efecto de la altitud, el efecto de la latitud, el efecto de la cantidad de lluvia y el efecto estacional (Lima, 2019, pp.38-45).

Mediante el estudio del fraccionamiento isotópico de deuterio y oxígeno-18 en la cuenca de páramo andino del río Zhurucay Crespo et al. (2013: pp.798-814) determinaron que el fraccionamiento isotópico en la cuenca se realiza en equilibrio (no existe fraccionamiento por evaporación). También refleja la existencia del efecto altitudinal (mayor altitud = empobrecimiento isotópico), donde la principal fuente de agua durante épocas muy húmedas es la lluvia, mientras que en condiciones secas los resultados sugieren que los Histosoles son las principales fuentes de caudal. Por otra parte, la investigación realizada por Ramón (2015, pp.32-50) para estimar la fracción de agua de evento y pre-evento mediante el uso de isótopos estables en la cuenca del Río Zhurucay, observaron que los suelos juegan un papel influyente en el porcentaje de pre-evento, por sus propiedades para retener y almacenar agua. Especialmente Andosoles e Histosoles que son importantes en el flujo del agua.

El estudio en la cuenca baja del río Chambo realizado por Núñez (2020 p.23) presenta una descripción hidrogeoquímica e isotópica del agua subterránea, con el objetivo de establecer la composición química, origen, calidad y relación con la mineralogía de los niveles acuíferos. Se analizaron los parámetros físicos (pH, temperatura, conductividad eléctrica) y químicos (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) de 10 muestras de agua subterránea y las concentraciones de isótopos estables (Oxígeno 18, Deuterio) de 12 muestras de agua subterránea y 42 muestras de agua de lluvia colectadas entre 2018 y 2019.

En este último año se realizó un estudio de la caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas de la cuenca del Río Manglar Alto, la cual comprendió de 8 pozos en 2 campañas de muestreo, agosto del 2018 (época seca) y diciembre del 2018 (época de lluvia). Los datos hidroquímicos obtenidos in situ fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, mientras que los estudios isotópicos se realizaron mediante una colaboración entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el organismo internacional de energía atómica (Carrión et al, 2021, p.537).

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. *Cuenca hidrográfica*

Una cuenca hidrográfica es el área física geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten una red natural, mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente, que confluyen a la vez a un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente al mar (Gómez Garzón, 2020, p.40).

Se considera como un sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas en la cual se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, que en función a las

características topográficas del medio puede afectar a sus procesos hidrometeorológicos y el uso de sus recursos (Ordóñez, 2011, p.1).

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la que el agua cae como resultado de la lluvia, luego se acumula y escurre a un lugar común o fluye secuencialmente hacia el mismo río, lago o mar. Una cuenca hidrográfica se encuentra delimitada por algunos puntos como la línea divisoria de agua o también conocida como parteaguas en un territorio dado. La línea divisoria o parte agua es una línea imaginaria cuya función es unir los puntos de valor máximo con una altura relativa entre dos vertientes contiguas, pero con exposición distinta; esta se desarrolla desde la zona más alta de la cuenca hasta el punto de emisión. Regular los recursos hídricos naturales separando diferentes áreas de las cuencas hidrográficas, con un correcto perfilamiento en la división funcional permitirán tener una excelente gestión integral por medio del agua.

La cuenca hidrográfica está integrada por los diferentes recursos naturales como agua, vegetación, suelo entre otras en donde el hombre puede desarrollar sus actividades necesarias para una correcta calidad de vida.

1.2.2. Partes de una cuenca hidrográfica

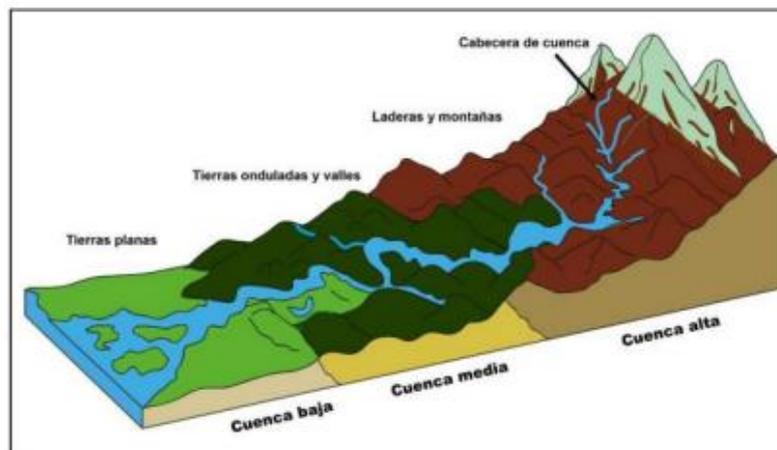


Figura 1-1. Partes de una cuenca hidrográfica

Fuente: Vásquez, et al, 2016.p.19.

Una cuenca hidrográfica está compuesta por tres partes:

- Cuenca alta, esta corresponde a la zona donde el río nace, el mismo que fluye y se desplaza por un pendiente.
- Cuenca media, parte de la cuenca que tiene un equilibrio entre los sólidos que entran debido al flujo de agua y la materia que sale de esta parte. No existe erosión.
- Cuenca baja, en esta área el material extraído de la cuenca alta se sedimenta en un abanico aluvial.

1.2.3. Cuenas hidrográficas según su balance

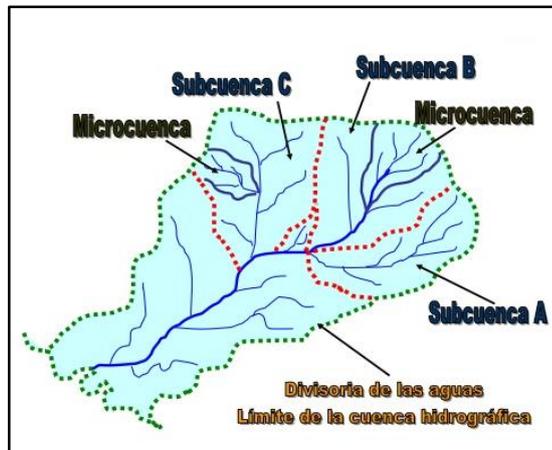


Figura 2-1. Cuenca hidrográfica según su balance

Fuente: Ancajima Ojeda, 2016.

- **Subcuenca**

Son el conjunto de ríos que llegan a drenar en un río principal de una cuenca. Varias Subcuenca se unen y así forman una cuenca.

- **Microcuenca**

son pequeñas aquí se originan quebradas y a veces riachuelos, se desarrolla su drenaje directo al curso principal de una Subcuenca. La unión de varias microcuencas forma una Subcuenca

1.2.4. Clasificación de las Cuenas



Figura 3-1. Clasificación de las cuencas hidrográficas

Fuente: ArcGeek, 2015.

Según su conducción final y sistema de drenaje las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de la siguiente manera:

-Arréicas

Estas no logran drenar en los diferentes cuerpos de agua (río, mar o lago), el recurso hidrico se pierde por medio de infiltracion o evaporación, no integran escurrimiento subteraneo.

-Endorréicas

Estas son formaciones cuya capacidad de drenaje permite la formacion de lagos o lagunas sin llegar al mar como destino final.

-Exorréicas

Cuando las vertientes de una cuenca hidrografica conducen a las aguas a un drenaje de sistema mayor como son los rios, lagos o mar.

-Criptorréicas

Estas formaciones no poseen organizadas redes de drenaje haciendo que sus aguas fluyan como ríos en el subsuelo.

1.2.5. Recurso hídrico

Los recursos hídricos son flujos de agua que reflejan la tasa natural del ciclo hidrológico, siendo muy útil en todos los aspectos de la vida humana, como recursos potenciales, pueden renovarse, reciclarse y almacenarse. Esta distinción es particularmente importante cuando se consideran acuíferos de agua subterránea, lagos naturales, lluvia, mar, arroyos, estanques, perforaciones y pozos.

La edición de United Nations World Water Assessment Programme/UN-Water (2018, p.1), recomienda la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (como la gestión de suelos, vegetación y / o humedales, incluidos lagos y ríos) para la gestión del agua. Para que estas soluciones basadas en la naturaleza y otras infraestructuras construidas por el hombre tengan éxito, es esencial contar con soluciones específicas de los ecosistemas basadas en la comprensión de los procesos hidrológicos dentro y a través de diferentes ecosistemas.

Para Bajaj et al. (2019, p.532-549), es necesario comprender los procesos hidrológicos mencionados anteriormente, los isótopos ambientales juegan un papel importante, debido a que ayudan a comprender los procesos hidrológicos que actúan como trazadores naturales, ya que las aguas de diferentes fuentes que se han sometido a diferentes procesos tienen huellas dactilares isotópicas distintas.

1.2.6. Ciclo del agua

El llamado ciclo del agua o también conocido como ciclo hidrológico, se lleva a cabo en tres zonas las cuales son: la atmósfera, capa gaseosa que cubre al globo terrestre, la litosfera forma la parte sólida de la superficie de la tierra y la hidrosfera, la cual está constituida por los diferentes recursos hídricos que cubren la superficie.

Se considera que al ocupar casi el 70% tanto de mares y océanos de la superficie, es aquí donde se inicia el ciclo del agua, esto debido a que la evaporación que proviene de estas zonas es mayor de las otras zonas de la atmósfera. Desde la superficie de la Tierra se transfiere el agua hacia la atmósfera mediante la evaporación, proceso por el cual el agua superficial cambia del estado líquido al gaseoso. La mayor parte del agua evaporada permanece en estado gaseoso en la atmósfera, fuera de las nubes. La evaporación es más intensa con temperaturas más cálidas. La condensación es el cambio del agua de su estado gaseoso (vapor de agua) a su estado líquido. Este fenómeno generalmente ocurre en la atmósfera cuando el aire caliente asciende, se enfría y disminuye su capacidad de almacenar vapor de agua. Como resultado, el vapor de agua en exceso condensa y forma las gotas de nube (Vera y Camilloni, 2010, pp.1-2).

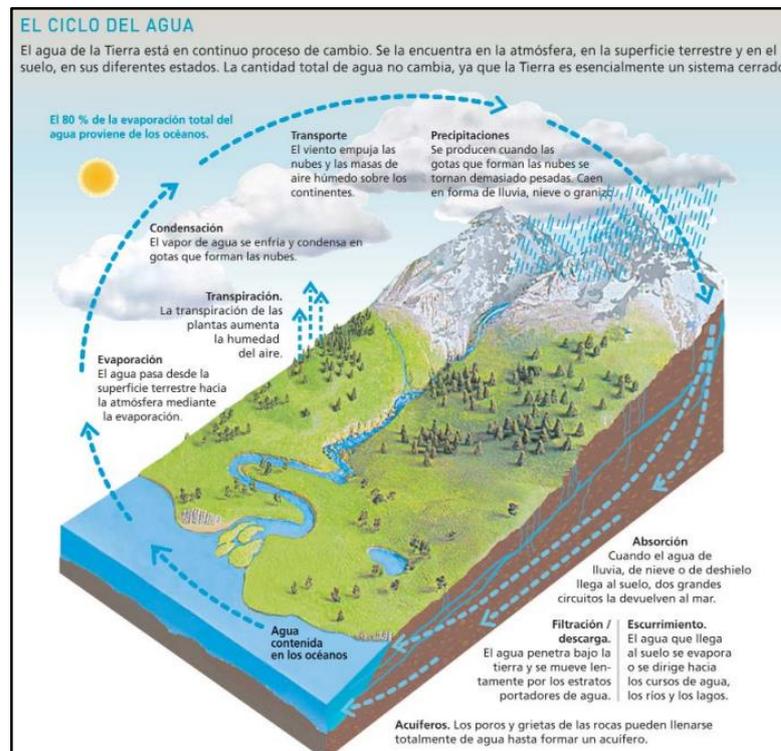


Figura 4-1. Ciclo del Agua

Fuente: Vera y Camilloni, 2010, p.1-2.

1.2.7. Agua subterránea

El agua subterránea es producto de la infiltración en el subsuelo del agua proveniente de la precipitación, se considera una fuente primaria de suministro de agua en las regiones urbanas y rurales de los países en desarrollo. La sobreexplotación de las aguas subterráneas se ha visto influenciada por diversos fines como: potable, domésticos, industriales y agrícolas, los cuales han provocado variaciones significativas en la calidad del agua, provocando diferentes problemas en la salud de humanos y animales (Ahamad et al, 2018, p.1).

El agua subterránea representa el 96 por ciento del agua dulce líquida del planeta, siendo el 25 a 40 por ciento del agua potable en todo el mundo (Moreno y Duque, 2015: pp.16-21). Estudios realizados por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2014), mencionan que los principales usos del agua subterránea en Ecuador son:

Tabla 1-1. Usos del agua en el Ecuador

Porcentaje	Actividad
77.55%	Para el consumo humano
8.90%	Riego Agrícola
6.51%	Abrevadero
4.87%	Industria

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los metales pesados son las principales impurezas en las aguas subterráneas debido a la naturaleza de las rocas y los fenómenos meteorológicos o actividades antropogénicas, incluido el uso de fertilizantes. En el agua subterránea se presentan elementos importantes como: sodio (Na⁺), calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺), potasio (K⁺), cloro (Cl⁻), silicio (Si), bicarbonato (HCO₃⁻) y sulfatos (SO₄²⁻), todos los elementos mencionados podrían resultar en una contaminación grave y perjudicial para la salud humana (Alqahtani et al, 2020: p.1-10; Foster, et al, 2006).

1.2.8. Agua superficiales

El agua superficial es parte integral del ciclo hidrológico, que posibilita el funcionamiento del ecosistema que se encuentran en las aguas de la superficie terrestre como en arroyos, ríos, estanques, lagos, marismas o humedales, y en forma de hielo y nieve. Las presiones sobre las aguas superficiales, como el uso de la tierra y las actividades económicas como la agricultura representan aproximadamente el 70% del uso de agua de ríos, embalses y acuíferos, mientras que el consumo doméstico de agua representa sólo el 10% del uso de agua (Fuentes et al, 2020, p.2).

Las actividades antropogénicas, como el bombeo excesivo del agua subterránea y la descarga o transferencia de agua artificial, se encuentran entre los principales factores que influyen en la

interacción entre las aguas superficiales y subterráneas. Por un lado, afecta a los flujos en los procesos hidrológicos y a la migración de contaminantes ambientales y por otro la extracción excesiva de agua subterránea interfiere con las aguas superficiales y los sistemas de aguas subterráneas, lo que resulta en la reducción del caudal de los arroyos y la degradación ecológica (Zhu et al, 2019, p.27).

1.2.9. Agua de precipitación

La precipitación cae sobre la tierra como agua superficial y da forma a la superficie, creando así corrientes de agua que dan como resultado lagos y ríos. Una parte del agua que precipita penetra en el suelo y se mueve hacia abajo a través de las incisiones, formando acuíferos. Finalmente, una parte del agua superficial y subterránea desemboca en el mar (Inglezakis et al, 2016, p.137-212).

Para Bai y Liu (2018, p.24) la precipitación es uno de los elementos principales del ciclo del agua, y su variación espaciotemporal influye notablemente en los recursos hídricos de las regiones. Por lo tanto, los datos precisos de precipitación son cruciales no solo para la gestión de los recursos hídricos, sino también para el pronóstico hidrológico extremo, el flujo de escombros y el pronóstico de peligros provocados por la lluvia (Zhang et al, 2020: pp.492-515).

1.2.10. Contaminación hídrica

La contaminación del agua se entiende como el acto de introducir distintos componentes en el agua, cambiando su calidad y composición química. Según la Organización Mundial de la Salud, el agua se contamina cuando cambia su composición, lo que la hace inadecuada para su uso en su estado natural (Guadarrama et al, 2016: pp.1-10).

La contaminación del agua comúnmente es provocada por las diferentes acciones del hombre en forma ya sea esta directa o indirecta por el uso de sustancias o energía en los cuerpos de agua modificando así su calidad y estado natural. Algunos parámetros que pueden ser afectados y modificarse debido a estas acciones son: pH, olor, turbidez, temperatura, alcalinidad y conductividad.

Desde el punto de vista investigativo la mayor fuente de contaminación representativa es la antropogénica, aunque cuantitativamente es mucho menor que las naturales, sus efectos se duplican porque sus efluentes se localizan en áreas reducidas.

La vulnerabilidad del recurso hídrico es consecuencia de la contaminación que este sufre, ya que se altera la calidad del agua causando la progresiva degradación del recurso, los diferentes estudios deben mencionar y especificar no solo las medidas que se proponen para revertir la situación, a su vez se debe dar a conocer el proceso, sus causas y efectos económicos que requieren la intervención y decisión política de implementar medidas de regulación y control.

Se habla de problemática de los recursos Hídricos cuando a pesar de que el agua ha servido a los seres humanos durante toda su existencia en el planeta, el cambio climático, el incontrolable crecimiento de su población, el establecimiento de grandes urbes y muchas otras actividades han ocasionado múltiples alteraciones en la composición de los ecosistemas acuáticos de los cuales se han servido, afectando no solo la salud humana, sino también creando desequilibrios naturales muy graves (Tortajada, 2015, p.9).

1.2.11. *Gestión integral del recurso hídrico*

Lekshmi Prasad y Kani (2017, p.7) mencionan que los índices de calidad del agua son un componente importante del manejo global integrado de los recursos hídricos, donde la principal prioridad del uso del agua es para consumo humano, soberanía alimentaria, caudales ecológicos; y, para el aprovechamiento de riego para producción agropecuaria, acuicultura, agroindustria de exportación; y, actividades turísticas, generación de hidroelectricidad y energía hidrotérmica (ENCA, 2016, p.30).

La calidad del agua es la expresión cuantitativa y cualitativa de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos de un cuerpo de agua, los cuales en los últimos años se ha visto afectada por actividades humanas, provocando la afectación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas por la falta de aplicabilidad de las normas ambientales (ENCA, 2016, p.30).

En la actualidad la problemática del agua abarca a toda la población mundial. El problema se fundamenta en las gestiones ineficientes que los gobiernos han implementado o a su vez, la falta de estas. El marco legal y administrativo atiende al recurso hídrico sin relacionar con el bienestar económico, social y ambiental. Como consecuencia de esto se suelen fomentar soluciones poco eficientes o a su vez prácticas que causan diferentes problemas.

La calidad del agua guarda una relación muy estrecha entre la protección del recurso hídrico y a los diferentes aspectos ambientales de la gestión integral, de igual manera la calidad de este elemento natural se vincula con los diversos usos que esta tiene en la vida cotidiana de una sociedad, es decir, tiene un determinante factor antrópico, sin dejar de lado las posibles causas naturales que también tienen incidencia en los parámetros que conforman la calidad del agua y que establecen las características físicas, químicas y biológicas del recurso considerado.

1.2.12. *Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico*

Los límites máximos permisibles se establecen en el libro VI de la reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente y en La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 108, las cuales regulan las actividades y procedimientos con relación de ausencia y

presencia de agentes nocivos que requieran un tratamiento convencional y/o desinfección de las aguas para garantizar el consumo humano y uso doméstico.

Tabla 2-1. Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLE
Parámetros In situ		
Ph	H^+	6-9
TDS	$\frac{mg}{L}$	500
Conductividad Eléctrica	$\frac{\mu S}{cm}$	70
Parámetros de laboratorio		
Litio (Li^+)	$\frac{mg}{L}$	2,5
Sodio (Na^+)	$\frac{mg}{L}$	200
Potasio (K^+)	$\frac{mg}{L}$	20
Amonio (NH_4^+)	$\frac{mg}{L}$	1
Sodio (Na^+)	$\frac{mg}{L}$	200
Zinc (Zn^+)	$\frac{mg}{L}$	5,0
Cloruros (Cl^-)	$\frac{mg}{L}$	250
Fluoruros (F^-)	$\frac{mg}{L}$	Menor a 1,4
Cobre (Cu^+)	$\frac{mg}{L}$	1,0
Fosfatos (HPO_4^{2-})	$\frac{mg}{L}$	0.3
Dureza Total	$\frac{mg}{L}$	300
Sulfatos (SO_4^{2-})	$\frac{mg}{L}$	400
Nitritos (NO_2^-)	$\frac{mg}{L}$	1
Nitratos (NO_3^-)	$\frac{mg}{L}$	10

Fuente: TULSMA, 2015, p.294-300; INEN 1108, 2014, p.2-5.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

1.2.13. Características hidroquímicas

La caracterización hidroquímica de las aguas y su distribución espacial y temporal aportan información sobre su origen, los procesos fisicoquímicos que las afectan y la calidad (degradación y presencia de contaminantes) (García et al, 2012: pp.29-34). El agua puede estar contaminada por la lixiviación de sustancias químicas de la superficie del suelo al sistema de agua, que puede ocurrir

en acuíferos no consolidados a través de la deposición aluvial y / o en acuíferos consolidados con volcanes (p. Ej., Riolita y andesita) y sedimentarios (p. Ej., Arenisca y piedra caliza) y rocas. Además, la descarga de aguas residuales domésticas, las actividades agrícolas, el uso prolongado de agroquímicos y la contaminación urbana, han provocado que aumenten las concentraciones de nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), (NO_3^-) y el cloruro (Cl^-) (Chotpantarat y Thamrongrisakul, 2021; Wongsasuluk et al, 2018, p: 106-118).

1.2.14. Software diagrammes

Diagrammes es un software de uso libre, creado por la Universidad de Avignon, es liviano y fácil de usar. Lo mejor es que es de uso libre, fácil de manejarlo y brinda buenos resultados. Permite realizar gráficos de Piper, Schoeller-Berkalov, Stiff, Binarios (estos permiten combinar una gama importante de parámetros, incluyendo datos isotópicos), Riverside/Wilcox, Korjinski, simulación de ph, cálculos estadísticos y modela usando algoritmo Phreeq. Permite además exportar los gráficos realizados a un archivo jpg, bmp, fem y de tipo vectorial. De igual forma permite el cálculo de balance iónico, conductividad, TDS, pCO_2 , etc. (Agua y SIG, 2011, p.1).

1.2.15. Diagrama de Piper

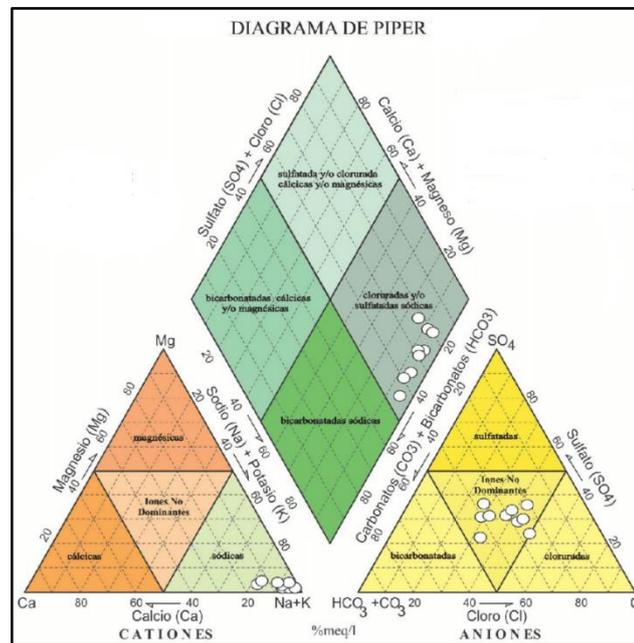


Figura 5-1. Diagrama de Piper

Fuente: (Falcón, et al, 2015, p.21-40).

El diagrama de Piper es un sistema de referencia trilineal formado por dos triángulos y en el centro un esquema robondial. En los triángulos se grafican las diferentes concentraciones de cationes y

aniones, la cual permite representar la composición hidroquímica del agua y comparar la composición mineralógica de las distintas fuentes de agua subterráneas y superficial.

La clasificación de las aguas son las siguientes:

- Tipo 1: Sulfatada Calcica
- Tipo 2: Bicarbonatada Calcica
- Tipo 3: Clorurada Sodica
- Tipo 4 : Bicarbonatada Sodica

1.2.16. Temperatura

Según (Vannote y Sweeney, 1980, p.11) la temperatura del agua de los arroyos es un factor importante que influye en los ecosistemas acuáticos, ya que afecta la distribución, el crecimiento, el metabolismo y la reproducción de las especies, siendo condicionada por las características del terreno que drena, la naturaleza de las rocas y la profundidad. Por ello, se utiliza para analizar el comportamiento de los diferentes procesos que afectan los hábitats térmicos de los arroyos y la filtración de agua subterránea.

1.2.17. Conductividad eléctrica

La conductividad del agua se relaciona con la concentración de las sales disueltas, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. Además, al determinar la dureza del agua podemos medir la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, básicamente: calcio (Ca), magnesio (Mg) y carbonato de calcio (CaCO₃) que provienen de la disolución de rocas y minerales (Solís et al., 2018, p.1).

1.2.18. Sólidos totales disueltos (TDS)

Es un indicador que se utiliza eficazmente para evaluar la idoneidad del suministro de agua potable y de riego, medida en partes por millón (ppm) o miligramos equivalentes por litro (mg/L). TDS consta de una variedad de sales inorgánicas (por ejemplo, sodio (Na⁺), magnesio (Mg⁺²), calcio (Ca⁺²) y potasio (K⁺) como cationes, así como cloruro (Cl⁻), sulfato (SO₄⁻²), nitratos (NO₃⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻) como aniones) y materia orgánica disuelta (Jamei et al, 2020).

1.2.19. Potencial de Hidrógeno (pH)

La concentración de iones de hidrógeno se expresa convenientemente como pH, que es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$. Un pH de 7 es neutro. La reducción del pH por debajo de 7 muestra un aumento en la acidez (iones de hidrógeno), mientras que un aumento en el pH por encima de 7 muestra un aumento de la alcalinidad (iones hidroxilo) (Caenn et al, 2017, p.55-91).

1.2.20. Alcalinidad

La alcalinidad en el agua natural es producida por la presencia de CO_2 disuelto, carbonato y bicarbonato. La contribución de estos compuestos puede afectar el cálculo del balance iónico, por lo que, el pH del agua está controlado por las reacciones que involucran la disponibilidad de CO_2 disuelto en forma de Ácido Carbónico (H_2CO_3) y los iones generados por su disociación (Núñez, 2020, p.14).

1.2.21. Acidez

La acidez es la capacidad de una solución de neutralizar una base. Las especies que contribuyen a la acidez provienen de las emanaciones de gases volcánicos y fuentes geotérmicas, recarga de agua de lluvia ácida, oxidación de minerales de sulfuro y depósitos de minerales metálicos (Núñez, 2020, p.1).

1.2.22. Trazadores ambientales

Los elementos disueltos como los isótopos del agua brindan información sobre la recuperación de las aguas en los acuíferos (recarga), identificación de aguas antiguas (origen y edad del agua), interconexiones hidráulicas entre varios acuíferos, mezcla de aguas de fuentes diferentes, hidrodinámica de los acuíferos (flujos y edad), intrusión de aguas de mar en acuíferos costeros, susceptibilidad de los acuíferos a la contaminación, etc (Peralta et al, 2015, p.3).

Los trazadores ambientales isotópicos, deuterio y oxígeno guardan una gran relación entre ellos, dando resultados con mucha similitud o totalmente iguales. La aplicación de isótopos estables como trazadores, identifica a los cuerpos de agua, permitiendo así estudiar críticamente los hidrogramas de la escorrentía, y conocer el recorrido del agua.

1.2.23. Isótopos

Se denomina Isotopos a todos los átomos que pertenecen al mismo elemento químico es decir que tienen igual número atómico pero diverso número de masa.

Los isótopos en estudios hidrológicos se fundamentan en que, las propiedades de estos son levemente diferentes y por lo tanto presentan concentraciones isotópicas relativamente diferentes. De igual manera gracias a su uso en los diferentes estudios ha permitido entender los procesos hidrológicos y geoquímicos por medio del fraccionamiento isotópico, esta es la variabilidad en las concentraciones de los isótopos estables por los cambios de las diferentes de fases presentes en el cuerpo de agua o a su vez en otros compuestos.

Los isótopos son categorías de igual elemento con la particularidad que entre ellas existe una diferencia por el número de neutrones que están presentes en el núcleo. Se toma en consideración que varios elementos cuentan con dos o más isótopos que participan de manera normal, estos suelen ser de tipo estables o radiactivos. Cuando hablamos de isótopos estables son aquellos que no experimentan decaimiento radiactivo, es decir, proceso cuando el núcleo inestable se transforma en uno más estable, a su vez cuando se habla de isótopos inestables o radiactivos son aquellos que a través del paso del tiempo sufren cambios en el núcleo y, existen solamente durante periodos específicos de tiempo definidos como “tiempo de vida medio”.

1.2.24. Efectos isotópicos observados en la precipitación

La presencia de isótopos en el proceso de precipitación indica el transcurso del agua, permitiéndonos realizar el seguimiento de esta en las diferentes etapas de emigración sobre y dentro del suelo. Existen dos principales causas que controlan a los isótopos estables y sus concentraciones en el proceso de precipitación, el vapor de la composición isotópica que se forma de la condensación inicial y la temperatura, ya que esta controla el fraccionamiento de estos. Como resultado de estas causas se puede observar variaciones tanto geográficas como en la composición isotópica en el agua (Gerrit, 2002: pp.203-214).

El enriquecimiento debido a la evaporación de las gotas de lluvia por debajo de la base de las nubes resulta efectivo durante los meses templados y secos, cuando los volúmenes de lluvia son pequeños. Esta lluvia parcialmente evaporada se caracteriza por valores de δO^{18} relativamente altos y por valores del exceso de deuterio ligeramente negativos. De igual manera cuando se obtiene resultados elevados del valor del exceso de deuterio se ha relacionado con elementos como la nieve y el granizo, gracias a estos sucesos se relaciona con relacionados con los valores isotópicos muy empobrecidos (Gerrit, 2002: pp.203-214).

1.2.25. Isótopos estables

Los isótopos de agua estables y las concentraciones de iones de las aguas de los arroyos/manantiales en una cuenca pueden proporcionar información sobre las fuentes de recarga y las interacciones entre el agua superficial y el agua subterránea (Tian et al, 2021: pp.492-515).

El uso de isótopos estables de agua, tanto deuterio ($\delta^2\text{H}$) y oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$), ha proporcionado conocimientos novedosos sobre la comprensión de los procesos de movimiento, almacenamiento y mezcla del agua subterránea (Sánchez et al, 2015: pp.231-254). En particular, estos trazadores de origen natural han sido reconocidos como una técnica útil para estudiar el transporte de solutos a partir de estudios de columnas y de cuencas hidrográficas, para dilucidar las fuentes de humedad atmosférica y sus implicaciones en el ciclo hidrológico (Sánchez et al, 2013, pp.231-254).

En este marco, el conocimiento de la composición isotópica es importante comprender los patrones de recarga en ríos y acuíferos. Las mediciones isotópicas en las precipitaciones en todo el mundo permiten el establecimiento de la línea de agua meteórica global (GMWL), que normalmente se utiliza para comprender los diversos procesos hidrológicos en los sistemas de aguas superficiales y subterráneas (Blarasin et al, 2020: pp.402-417), siendo útil para identificar las interacciones y procesos hidrológicos, como áreas de recarga, evaporación, mezclas de agua e interacciones agua-roca.

1.2.26. Procesos de isótopos estables en el ciclo del agua

El agua existe en la Tierra en estado sólido (hielo), líquido o gaseoso (vapor de agua). Su distribución es bastante variada, ya que muchas regiones tienen en abundancia mientras que en otras su disponibilidad es escasa. En la Tierra, el agua está en continuo movimiento en sus diferentes estados. De hecho, los océanos, los ríos, las nubes y la lluvia, que contienen agua, están en frecuente proceso de cambio (el agua de superficie se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se infiltra en el suelo, etc.) (Vera y Camilloni, 2010, p.1-2).

La presencia de isótopos y sus concentraciones intervienen en el proceso del ciclo del agua en un orden natural de participación, estas concentraciones sufren una alteración debido a su comportamiento distinto en los procesos físico-químicos naturales. El proceso inicia cuando el agua de mar se evapora, este en esta etapa comienza a moverse hacia altitudes y latitudes mayores, el vapor generado por agua marina se distribuye en diferentes zonas, una parte del mismo procede a enfriarse y enseguida desciende, haciendo que este se condense, para más adelante precipitar en el mar ; la otra gran parte del mismo se moviliza hacia los continentes donde cae en forma de precipitación permitiendo originar distintos tipos de agua tanto superficial y subterránea (Mook, 2001, p.181-196).

Para finalizar con esta distribución del vapor que se originó del agua de mar, una pequeña parte precipita en modo de hielo en las regiones frías del Ártico y Antártico. Durante este proceso la concentración de isótopos estables sufre una variación, debido al fraccionamiento isotópico de estos, se debe considerar que las gotas de lluvia mientras se van mezclando y cayendo se va dando una cantidad mayor de intercambios isotópicos ya que estos se van teniendo contacto con el aire ascendente. Esto incrementa el fraccionamiento que ocurre entre las fases líquida y gaseosa. Las moléculas de agua del vapor de agua circundante y las gotas de lluvia sufren un intercambio, supone la implantación de la igualdad isotópica en casos como que el aire se encuentre cargado en contacto con el líquido a temperatura ambiente (Mook, 2001, p.187-202).

La condensación del agua o también conocida como evaporación sucede si el aire se encuentra sobresaturado, estos procesos tienen una estrecha relación con un fraccionamiento isotópico. Las aguas superficiales del océano donde se cumple el proceso de evaporación se encuentran levemente enriquecidas en isótopos, en tanto que las aguas estacionarias y polares sus valores son ligeramente negativos. En las zonas donde están ligadas con el proceso de evaporación como cuencas hidrográficas son zonas enriquecidas isotópicamente. La composición isotópica que tiene el proceso de la precipitación es la línea base que permite por medio de esta comparar tanto geográfica o temporalmente, las aguas superficiales y subterráneas con la precipitación que ingresa (Mook, 2001, p.181-196).

1.2.27. Relaciones isotópicas

Elementos disueltos como los isótopos del agua, permiten tener información sobre la renovación de las aguas en los acuíferos (recarga), identificación de aguas antiguas (origen y edad del agua), interconexiones hidráulicas entre varios acuíferos, mezcla de aguas de origen diferente, hidrodinámica de los acuíferos (flujos y edad), intrusión de aguas marinas en acuíferos costeros, vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, etc (Peralta Vital, et al., 2015).

1.2.28. Fraccionamiento isotópico

El fraccionamiento isotópico se define como el fenómeno en el que la composición isotópica de un elemento en un compuesto dado cambia al transformar el compuesto de un estado físico o de una composición química a otra. Hay tres procesos de fraccionamiento de isótopos dependientes de la masa: la termodinámica (en sistemas en equilibrio físico o químico), la cinética (en reacciones bioquímicas unidireccionales o irreversibles) y el fraccionamiento de transporte durante los procesos difusivos (Lazo, et al, 2012).

El fraccionamiento isotópico fenómeno por el cual la composición isotópica de una sustancia se modifica. Se distingue entre fraccionamiento dependiente e independiente de la masa. Se habla de fraccionamiento dependiente de la masa, cuando el grado de fraccionamiento tiene relación directa con las diferencias de masa de las moléculas y átomos de las moléculas en cuestión.

Para que se dé el proceso de fraccionamiento isotópico dependiente de la masa las condiciones en las que se desarrolla deben estar en equilibrio es decir termodinámicas o cinéticas. Este tipo de fraccionamiento causa que las variaciones del Deuterio sean aproximadamente ocho veces mayores que las variaciones del Oxígeno 18.

1.2.29. Línea meteórica global

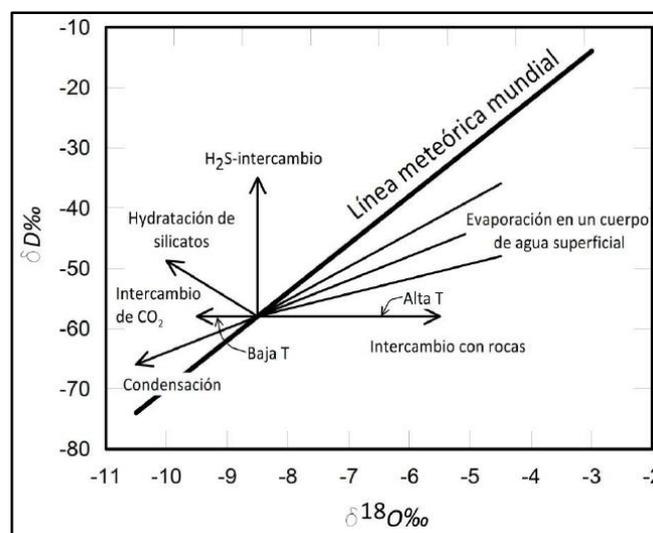


Figura 6-1. Línea meteórica global

Fuente: Valenzuela, Jorge y Palomares, 2013, p.57-66.

Existe una relación lineal entre el deuterio y el isótopo estable de oxígeno-18 en el agua meteórica, que es el concepto central y la teoría básica de la aplicación de la hidrología isotópica. (Craig, 1961, p.1702-1703) propuso la conocida ecuación de la línea de agua meteórica global (GMWL), también llamada “línea de Craig”, que se expresa de la siguiente manera:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10\text{‰}$$

donde δD es la concentración de deuterio en relación con el hidrógeno en unidades por mil (%); $\delta^{18}O$ es la concentración de oxígeno-18 en relación con el oxígeno en unidades por mil (%).

La relación global entre oxígeno 18 y deuterio es reconocida por Harmon Craig, la misma sirve como referencia medular para definir las desviaciones tanto regionales como locales, conocida como Global Meteoric Water Line (GMWL: $\delta 2H = 8 \cdot \delta 18O + 10$). Existen factores considerables

que pueden alterar las variaciones espaciales y temporales del $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en la precipitación, como la trayectoria de las masas de aire, latitud, altitud, cantidad de precipitación y la distancia a la costa. La recta meteórica se construye a partir de datos de precipitación de oxígeno 18 y deuterio. Los valores se proyectan en un diagrama de XY, donde se puede observar la variación producida por el fraccionamiento isotópico, los cuales ayudan a caracterizar y comparar las aguas según su procedencia o verificar si una muestra se ha evaporado.

1.2.31. Línea meteórica local

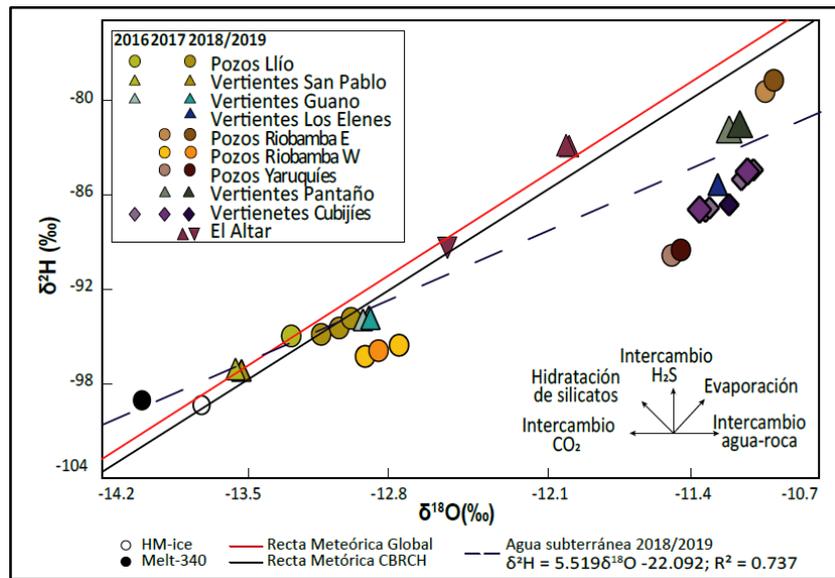


Figura 7-1. Correlación entre Oxígeno 18 y Deuterio de las muestras de agua subterránea de las campañas de campo 2016-2017 y 2018-2019

Fuente: Núñez Caiza, 2020, p.108-109.

Debido a que las proporciones de isótopos estables de δD y $\delta^{18}\text{O}$ varían con la elevación y el clima, la línea de agua meteorica local (LMWL) generalmente es diferente de los GMWL. Estos dos factores afectan la pendiente y la intersección de la LMWL y producen una LMWL diferente en diferentes ubicaciones. Los factores climáticos que influyen en la LMWL incluyen el origen de la corriente de agua, las vías de movimiento, la evaporación secundaria durante el proceso de precipitación y la variación estacional de la precipitación (Liu et al., 2018: pp.523-532).

1.2.32. Matlab

Es un software interactivo que puede considerarse como un entorno y un lenguaje de programación que surgió como una herramienta para dar apoyo en los cursos de análisis numérico, teoría de matrices y álgebra lineal (numérica). El nombre de MATLAB proviene de la abreviación

de su nombre completo en inglés Matrix Laboratory, cuya traducción al español es laboratorio de matrices. Como su nombre lo indica, el MATLAB está íntimamente relacionado con la estructura de las matrices. De hecho las matrices constituyen el elemento básico del lenguaje, esto implica que también puede trabajar con vectores y con números, al ser estos; tipos especiales de matrices (Answersjet, 2021, p.1). La primera versión de MATLAB fue escrita en FORTRAN y así continuó durante algunos años, esto se debió en parte a que sus orígenes fueron para un propósito netamente matemático y para la época de 1970 el mejor lenguaje de programación para problemas de tipo matemático era el lenguaje FORTRAN y aún hoy lo es. Las versiones más recientes se deben al grupo “The Mathworks” y están escritas en C y C++. Aunque la mayoría de las personas creen erróneamente que MATLAB es simplemente un lenguaje de programación, MATLAB es un software interactivo que puede considerarse como un entorno y un lenguaje de programación a la vez. En MATLAB los usuarios pueden crear sus propias aplicaciones (Ayala, 2016: pp.34-37). El MATLAB es de gran importancia ya que de ser algo creado simplemente para dar apoyo en cursos relacionados con teorías de matrices pasó a convertirse en una poderosa herramienta tanto en el ámbito educativo, científico como en el industrial. A nivel científico e industrial, tiene una gran cantidad de aplicaciones en muchos problemas prácticos de ciencia e ingeniería y matemáticas. Es altamente utilizado en geofísica, en el diseño de sistemas de control, en procesamiento de señales, en inteligencia artificial y redes neuronales, en simulación de sistemas dinámicos, en optimización, en problemas de modelaje y sistemas dinámicos (con Simulink, que puede considerarse como una extensión o un anexo de MATLAB), etc (González, 2015: p.1-10).

1.2.33. Sistema de Información Geográfica

SIG es un sistema que está conformado por tecnología informática, personas e información geográfica, que están particularmente diseñados para el análisis, almacenamiento, edición y representación de datos correctamente georreferenciados.

Un SIG constituye una base de datos georreferenciados, este sistema tiene la capacidad de almacenar de manera ordenada grandes cantidades de información, como una base normal, sin embargo, esta tiene la característica particular de que los datos obtenidos queden referidos a un sistema coordinado. Las variables y datos que van a ser analizados no aparecen en el formato usual de las bases de datos, esta se presenta en forma de mapas presentando los valores de las diferentes variables o imágenes. De este modo se puede estudiar de una forma sencilla la distribución de los datos sobre el terreno, a su vez, el origen de estos, sin olvidar la capacidad de realizar análisis estadísticos sobre las variables a tratar.

De esta manera gracias a estas características los SIG conforman una herramienta que brindan varias posibilidades para una simulación distribuida de sucesos hidrológicos a partir de datos distribuidos.

1.2.34. Software ArcGis

ArcGIS es un grupo de herramientas que proporciona el manejo y visualización de información geográfica, este cuenta con una estructura muy amplia mediante la que pueden añadirse nuevas operaciones y diseños como los mapas de isoconcentración que representan las concentraciones de una zona de estudio mediante un análisis temporal y espacial.

1.3. Base Legal

1.3.1. Constitución de la República del Ecuador

Tabla 3-1. Base legal Constitución de la República del Ecuador

Título	Capítulo	Análisis
TÍTULO II DERECHOS	CAPÍTULO I PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	El Artículo 12 establece: el derecho humano al agua es fundamental e inalienable. El agua es patrimonio estratégico de la nación de uso público, inviolable, irrevocable y necesario para la vida”;
TÍTULO II DERECHOS	CAPÍTULO II DERECHOS DEL BUEN VIVIR	El Artículo 14 establece: el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
TÍTULO II DERECHOS	CAPÍTULO VII DERECHOS DE LA NATURALEZA	El Artículo 71 establece: la naturaleza o Pachamama es el lugar donde se multiplica y se realiza la vida, tiene derecho a respetar plenamente su existencia, mantener y reproducir su ciclo vital, estructura, función y evolución. El Estado alentará a las personas naturales y jurídicas a proteger la naturaleza y promover el respeto a todos los elementos que integran el ecosistema.
TÍTULO VI RÉGIMEN DE DESARROLLO	CAPÍTULO V SECTORES ESTRATÉGICOS, SERVICIOS Y EMPRESAS PÚBLICAS	El artículo 318 establece: el agua es un patrimonio nacional estratégico de uso público, en la medida en que los recursos hídricos son indivisibles e inalienables para el ser humano, el riego, los caudales ecológicos y las actividades productivas para garantizar la soberanía alimentaria, en orden de prelación. El sector público-privado y la economía unen al pueblo conforme a lo dispuesto en la ley”

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

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

Tabla 4-1. Base legal Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Título	Capítulo	Análisis
TITULO II RECURSOS HIDRICOS	CAPITULO II INSTITUCIONALIDAD Y GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS	El artículo 33 establece que la gestión pública de los recursos hídricos comprenderá la planificación, formulación de políticas nacionales, manejo integrado de cuencas hidrológicas, emisión, seguimiento y control de permisos de uso de agua y permisos de uso productivo, identificación de caudales ecológicos, fuentes de agua y restauración, áreas de protección, control normativo y de gestión técnica, en cooperación con los organismos de protección ambiental para prevenir y controlar la contaminación y vertido de aguas.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1. Tipo de Investigación

- Por el método de investigación es cuantitativo, ya que se va a recolectar datos hidro químicos de la microcuenca, durante los meses de agosto 2021 (época seca) y febrero 2022 (época lluviosa) para establecer pautas y probar teorías.
- Según el objetivo es aplicada, porque persigue un fin directo e inmediato ya que emplea técnicas y metodologías estandarizadas para el almacenamiento y el tratamiento de las muestras y obtención de los resultados.
- Según el nivel de profundización en el objeto de estudio esta investigación es descriptiva porque permite establecer el comportamiento de los fenómenos de estudio, siendo comprobables con información sistemática y otras fuentes.
- Según la manipulación de variables esta investigación es no experimental, debido a que las variables no serán manipuladas deliberadamente, pues se analizarán los fenómenos tal cual como se encuentran en la naturaleza, realizando la recolección de muestras de agua sin aplicarles algún tratamiento, con un solo grupo (Microcuenca del río Chibunga) con medición en variaciones estacionales (seca y húmeda).
- Según el tipo de inferencia, tiene enfoque inductivo ya que a partir de los datos obtenidos por medio del análisis de muestras se podrá determinar el estudio de isotopos e hidroquímicos de la microcuenca del río Chibunga.
- Según el periodo temporal, esta investigación es longitudinal debido a que la recolección de las muestras se realizará a través del tiempo en puntos o periodos especificados período agosto 2021 y enero 2022 en todos los puntos establecidos para esta investigación.

2.2. Diseño de la Investigación

Según la manipulación de variables es un diseño no experimental.

2.2.1. *No experimental*

Operacionalización de los objetivos

Tabla 1-2. Matriz de operacionalización de objetivos

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
	Evaluar la concentración y variabilidad de isótopos estables presentes en la microcuenca del Río Chibunga en diferentes épocas estacionales	La variabilidad de la concentración de isótopos estables estará determinada en función de las condiciones que caracterizan a la zona de estudio y las actividades que tengan influencia en la misma evaluando estos factores a lo largo de la microcuenca baja, media y alta para establecer diferencias.	<ul style="list-style-type: none"> • pH • ppt • °C • $\mu\text{S}/\text{cm}$ • $\delta^2\text{H}(\%)$ • $\delta^{18}\text{O}(\%)$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetro • Picarro (L1102-i) Isotopic Liquid Water and Water Vapor Analyzer
Realizar el estudio isotópico e hidroquímico de precipitación, superficial y subterránea de la microcuenca del río Chibunga, variaciones estacionales.	Aplicar herramientas de Sistemas de Información Geográfica que permita mejorar el entendimiento y detalle del área de estudio.	Las herramientas SIG se refieren a la automatización de las tareas que, en el pasado, se realizaban manualmente, como es el caso de la recopilación de nuevos mapas que representan el estudio específico de algunas áreas.	Interpolación del sistema de información geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Geográfico Militar • Software ArcGIS
	Identificar la calidad del agua de la microcuenca del Río Chibunga en estación seca y lluviosa.	La identificación del índice de calidad del agua va a depender de la presencia y cantidad de los contaminantes, y de los factores naturales antropogénica a los cuales se ve expuesta, comparando las propiedades hidroquímicas de una muestra de agua orientándola a la calidad del agua.	mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotómetro de luz visible • Multiparámetro • Cromatografía Iónica • Absorción atómica de llama

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.3. Localización del área de estudio

La recolección de las muestras de aguas superficiales, subterráneas y de precipitación se lo realizó en la microcuenca baja, media y alta del Río Chibunga, este río se encuentra ubicado en la Provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba.

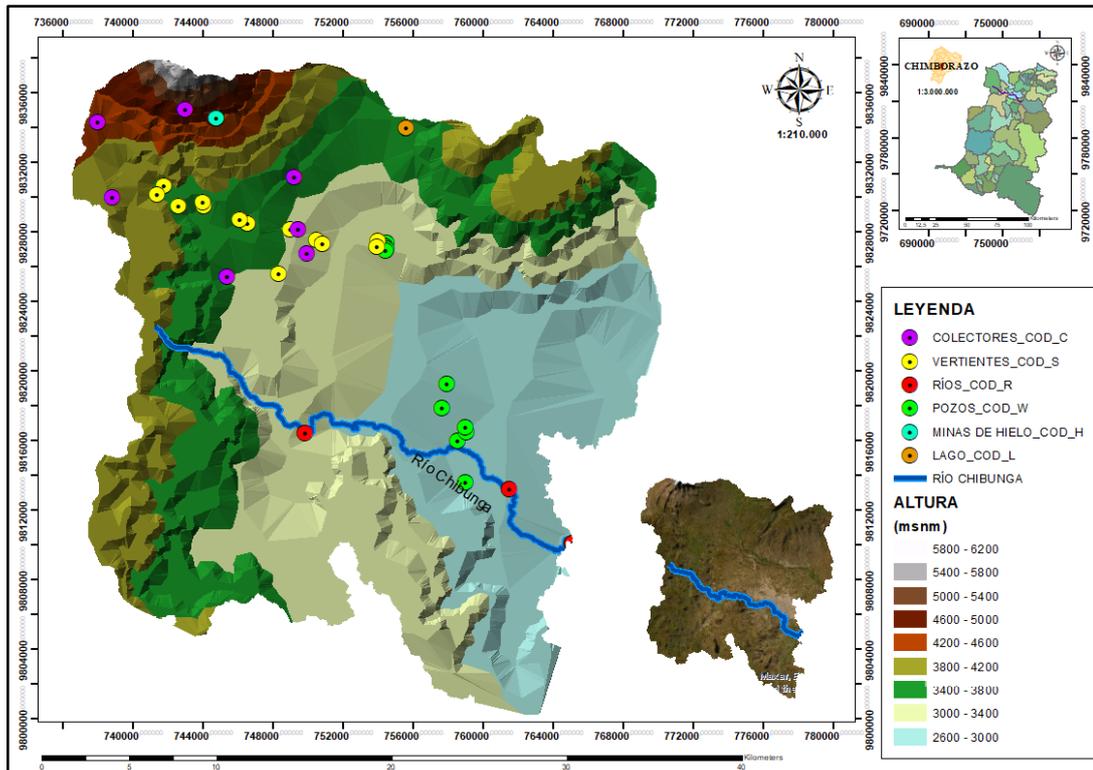


Figura 1-2. Mapa localización del área de estudio

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los datos de la ubicación geográfica son los siguientes:

Altitud: En la cota superior 4790 msnm y en la cota inferior 2588 msnm

La microcuenca del río Chibunga se extiende a través de 38 Km, es el principal afluente del río Chambo tributario del Pastaza (Veloz y Carbonel, 2018, p.23). El cauce del río Chibunga es una de las fuentes de agua que mayor impacto ha tenido en el desarrollo de Riobamba, ya que cruzan por él 25 comunidades aledañas.

Los análisis isotópicos e hidroquímicos y obtención de resultados de las muestras de la primera campaña (temporada seca), se realizaron en colaboración con la Universidad de Turín en el laboratorio de Hidroquímica de la UNITO, Departamento de Ciencias de la Tierra, de acuerdo con los métodos estándar ISO 7888, ISO 10523, EPA 300.1, ISO 14911, ISO 9963-1, los resultados se informan en los Anexos A y B. Los análisis parecían ser confiable ya que el balance iónico mostró un error relativo $[(\Sigma \text{cationes} - \Sigma \text{aniones}) / (\Sigma \text{cationes} + \Sigma \text{aniones})] \times 100$,

generalmente menos del 5%. Los análisis isotópicos se llevaron a cabo en el Departamento de Física y Ciencias de la Tierra de la Universidad de Ferrara. Las relaciones isotópicas de hidrógeno y oxígeno se determinaron utilizando el analizador isotópico CRDS Los Gatos LWIA de 24 días. Las proporciones isotópicas de $2\text{H}/1\text{H}$ y $18\text{O}/16\text{O}$ se expresaron como notación δ ($\delta = (\text{Rmuestra}/\text{Restándar} - 1) \times 1000$) con respecto al estándar internacional Viena Standard Mean Ocean Water (V-SMOW).

Para la obtención de resultados de la segunda campaña (temporada húmeda), las muestras se filtraron para que no contengan partículas sólidas que interfieran con el funcionamiento de los equipos analizadores. Los análisis isotópicos se realizaron en la Universidad de Cuenca en el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, las muestras fueron organizadas de acuerdo con su fuente (lago, pozos, ríos, hielo y precipitación). El análisis se realizó utilizando el analizador isotópico Picarro L1102-i Isotopic Liquid Water and Water Vapor Analyzer. Mientras que los análisis hidroquímicos se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de Calidad del Agua y Química Instrumental por medio de técnicas de volumetría, colorimetría, espectroscopia de absorción atómica y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente.

2.4. Población de estudio

Los datos para abarcar toda el área de estudio que comprende la microcuenca del Río Chibunga, se estableció en vertientes, pozos, río, lagunas y recolectores de lluvias en zonas identificadas como microcuenca baja, media y alta, en cada una de estas zonas se establecieron puntos de muestreo de los cuales serán extraídas las muestras de agua.

2.5. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra está definido en función de treinta y seis puntos de muestreo establecidos a lo largo de toda la microcuenca del Río Chibunga distribuidos entre la zona baja, media y alta. Realizando muestreos en variaciones estacionales, tomando 1.25 L de muestra en cada punto establecido para realizar los análisis pertinentes.

2.6. Método de muestreo

El tipo de muestreo seleccionado es de carácter no probabilístico dirigido ya que, es una técnica de fácil acceso que permite la determinación de los puntos de muestreo en zonas de interés en el área de estudio; tomando en cuenta las actividades antropogénicas.

2.7. Técnica de recolección de datos

Inicialmente para la recolección de datos se realizó una revisión bibliográfica en la que se recopiló información de interés por medio de artículos científicos y tesis relacionadas con el tema.

El procedimiento de toma de muestras y tratamiento de estas se los realizaron en base a la estipulado en:

- NTE INEN-ISO 5667. Calidad del agua. Muestreo Parte 12: Equipo de muestreo para características físicas y químicas y Parte 14: Transporte y almacenamiento de muestras hacia el depósito o hacia el laboratorio y conservación en estos lugares.
- NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, los puntos 3.14 Manejo y conservación de muestras, 4.1 Muestreo y 5. Rotulado.
- NTE INEN 2226:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de programas de muestreo, los puntos 4.1.3 Consideraciones especiales en el muestreo y 4.1.4 Situaciones individuales de muestreo - Aguas Naturales (Agua lluvia, Estuarios, Ríos, Vertientes, Reservorios, Lagos, Aguas subterráneas y Agua potable).
- NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, los puntos 4.1 Tipos de muestra, 4.9 Prevención de la contaminación y 5.1.1 Características del equipo de muestreo.
- Los datos obtenidos de las muestras de agua fueron clasificados en hojas diferentes de Microsoft Excel correspondientes a cada zona con los parámetros medidos; luego se clasificaron y se agruparon de acuerdo con el punto de muestreo y finalmente se registró en tablas.

2.8. Uso de suelo del área de estudio

Para generar un mapa de uso de suelo, se utilizó un conjunto de datos multiparamétricos que comprende datos de sensores remotos y mapas convencionales, incluidas hojas topográficas, proporcionados por los vectores cobertura vegetal 2008, provincias y cantones del Ecuador por el Instituto Geográfico Militar. En un primer paso, todos los datos han sido convertidos a formato digital, mediante escaneo en formato TIFF y georreferenciados en Universal Transverse Mercator (UTM), esferoide y datum WGS-1984. En la Ilustración 9-2, se encuentran representados el uso de suelo del área de estudio y los puntos de muestreo tanto para parámetros hidroquímicos como para marcadores isotópicos a una escala de 1:210.000.

El área de estudio presenta diferentes usos de suelo los cuales se detallan a continuación:

- Tierra agropecuaria
- Vegetación arbustiva y herbacea.
- Zona Antrópica
- Bosque
- Cuerpo de agua
- Otras tierras

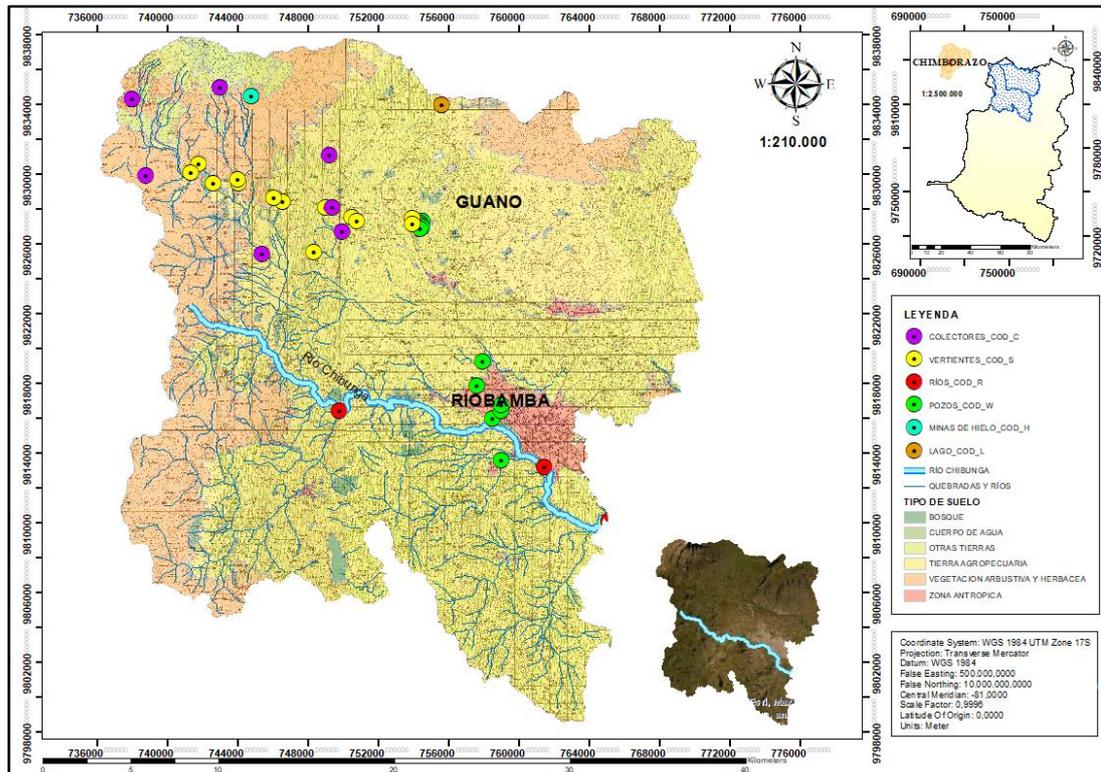


Figura 2-2. Mapa uso de suelo del área de estudio

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

El uso del suelo está generalmente dado por tierras agropecuarias, donde generalmente no existe una gestión estratégica que evite la erosión de los suelos que lindera la microcuenca. La cobertura vegetal está sectorizada en la microcuenca del río Chibunga, por lo cual se divide en varios sectores:

- **Colectores;** es una zona predominada por Tierra Agropecuaria y Vegetación Arbustiva y Herbácea.
- **Vertientes;** esta zona es similar a la anterior pero en esta se añade los páramos, consecuencia de las grandes alturas que alcanza.
- **Ríos;** en esta zona predomina la Tierra Agropecuaria principalmente el pasto, consecuencia de la zona ganadera y agrícola, además presenta una influencia de contaminación antropogénica debido a que se encuentra cercano a la zona antrópica.

- **Pozos**; zonas que presentan varios asentamientos urbanos, y diversos puntos en zonas Agropecuarias.
- **Mina de Hielo**; presenta en su mayoría Vegetación Arbustiva y Herbacea debido a que se encuentra a una altura de 4200 msnm donde principalmente se encuentran pajonales y chuquiraga.
- **Lago**; predomina la zona Agropecuaria.

2.8. Tratamiento de los datos hidroquímicos

El análisis de los datos hidroquímicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura, aniones y cationes) de 29 muestras de agua subterránea, superficial y hielo, fueron recolectadas y codificadas según el sitio de muestreo, se consideraron los siguientes puntos 13 vertientes, 1 lago, 3 puntos del Río Chibunga, 1 mina de Hielo y 11 pozos.

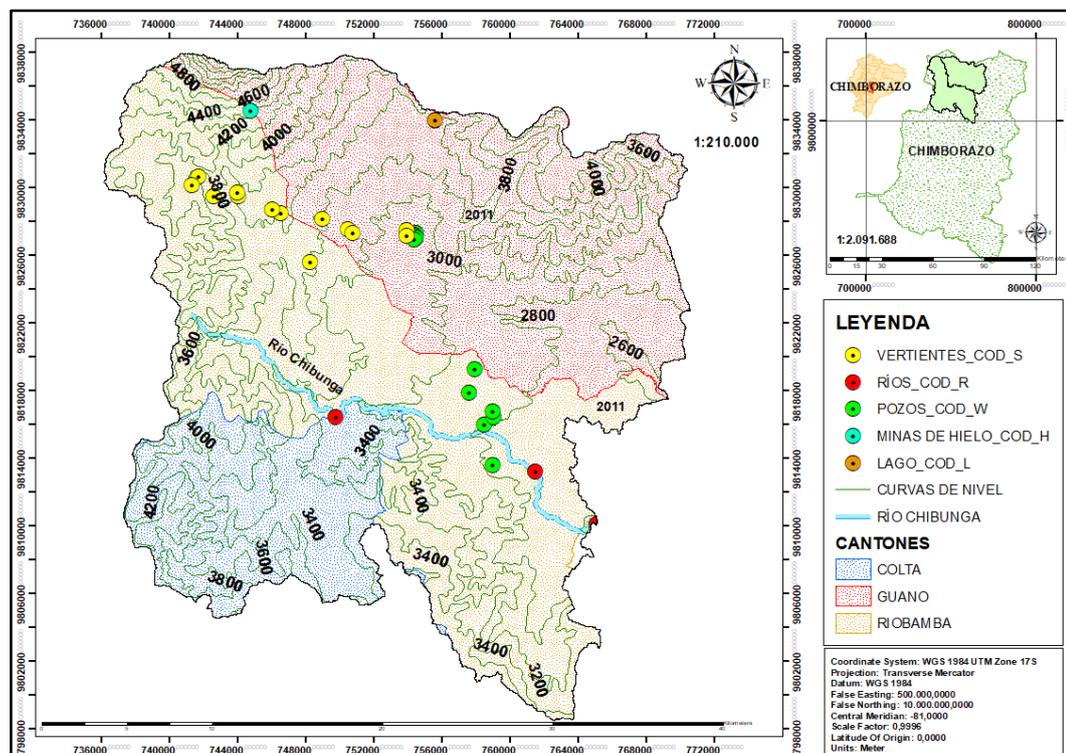


Figura 3-2. Mapa puntos hidroquímicos

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.8.1. Recolección de muestras

El proceso de recolección de muestras se basó bajo la normativa NTE INEN 2226:2013, la cual nos indica, consideraciones especiales y situaciones individuales de muestreo (Agua lluvia, Estuarios, Ríos, Vertientes, Reservorios, Laguna, Aguas subterráneas y Agua potable).

Las campañas realizadas en los meses de agosto 2021 (época seca) y enero 2022 (época lluviosa) se realizaron en las zonas de Riobamba, Llío San Pablo, Yanayacu-Mochapata y Volcán Chimborazo.

Tabla 2-2. Datos de elevación y tipo de agua para la hidroquímica

Identificación	Lugar	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Tipo de agua
S12	AUCACAN	-1,552953	-78,760870	3396,00	vertiente
S13	LA SILVERIA	-1,558325	-78,748755	3306,00	vertiente
S14	LA UNION 2	-1,560356	-78,745869	3263,00	vertiente
S16	LA MOYA	-1,576194	-78,768220	3355,00	vertiente
S17	CURIPOGYO	-1,550176	-78,784148	3591,55	vertiente
S18	TAMBOHUASHA	-1,548283	-78,788435	3607,00	vertiente
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	-1,548282	-78,788237	3603,00	vertiente
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	-1,53975	-78,80677	3663,00	vertiente
S24	SAN PABLO 1	-1,559033	-78,7175112	3137,00	vertiente
S25	SAN PABLO 2	-1,561771	-78,717580	3138,00	vertiente
S26	MESARUMI 1	-1,541086	-78,819785	3658,00	vertiente
S28	LA CHORRERA 1	-1,53022	-78,82964	3720,84	vertiente
S39	LA CHORRERA 12	-1,535752	-78,830807	3722,67	vertiente
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	-1,50092	-78,70452	3566,00	Laguna
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	-1,659036	-78,754807	3058,00	Punto de Río
R5	PARQUE ECOLOGICO	-1,687973	-78,650019	2716,00	Punto de Río
R6	LICTO-CHAMBO	-1,716071	-78,617197	2588,00	Punto de Río
W4	LLIO POZO 1	-1,560320	-78,712866	3134,00	Pozo
W5	LLIO POZO 2	-1,561351	-78,713700	3113,00	Pozo
W6	LLIO POZO 6	-1,562263	-78,713501	3120,00	Pozo
W7	LLIO POZO 7	-1,563139	-78,712791	3117,00	Pozo
W8	LLIO POZO 4	-1,564757	-78,713542	3114,00	Pozo
W9	Santa Lucía	-1,685163	-78,672049	2796,00	Pozo
W10	La Huerta	-1,662876	-78,676603	2833,00	Pozo
W11	Servidores	-1,658452	-78,671865	2825,00	Pozo
W12	24 de mayo	-1,645680	-78,684465	2857,00	Pozo
W13	Santa Ana	-1,633117	-78,681776	2888,00	Pozo
W14	21 de abril	-1,655768	-78,672138	2808,00	Pozo
H1	MINAS DE HIELO	-1,49607	-78,80021	4748,00	Mina de Hielo

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Con el propósito de obtener datos representativos los parámetros de pH, temperatura, sólidos totales y conductividad eléctrica se midieron in situ, mediante medidores multiparamétricos de marca HANNA HI98129 y MGR ez-9909, para estación seca y lluviosa respectivamente.

Cabe mencionar que en la medición del pH el primer multiparámetro presento una precisión de ± 0.02 , mientras que el segundo mostró una precisión de ± 0.01 . De la misma manera en la lectura de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, tanto el medidor HANNA como el MGR ez-9909 presentan una precisión de $\pm 2\%$.

Las muestras colectadas para los análisis de aniones y cationes se embazaron al vacío en recipientes de polietileno rotulados de 1 litro de capacidad. A continuación, se resguardaron en refrigerantes portátiles y fueron enviadas a los laboratorios correspondientes para su análisis. Las muestras de agosto 2021 fueron analizadas en colaboración con la Universidad de Turín, en el laboratorio del Departamento de Ciencias de la Tierra. Por el contrario, las muestras de enero 2022 se analizaron en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de calidad del agua y química instrumental.

Tabla 3-2. Método de detección y Laboratorios

Campaña	Elemento	Método de Detección	Laboratorio
Época Seca	$Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Li^+, NH_4^+$	Cromatografía Iónica, Cation std.	Universidad de Turín, laboratorio del Departamento de Ciencias de la Tierra.
	$F^-, Cl^-, Br^-, PO_4^{2-}, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-$	Cromatografía Aniónica, Anión std.	
Época Lluviosa	Na^+, K^+	Espectroscopia de absorción atómica.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de calidad del agua y química instrumental.
	Li^+	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente.	
	$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, HCO_3^-$	Volumetría	
	$NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{2-}, F^-, NH_4^+$	Colorimetría	

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.8.2. Análisis estadístico

A partir de estos datos tabulados, se generaron gráficos que permitieron visualizar tendencias, comportamientos o correlaciones entre los parámetros medidos y también en relación con los sitios de la microcuenca donde se recolectaron las muestras. Para el tratamiento de los datos

obtenidos, a los resultados conductividad eléctrica, pH y sólidos totales se calculó la desviación estándar, la mediana y la media; además, para conocer si hay diferencias significativas entre las zonas de estudio establecidas, se aplicó una interpolación mediante el software ArcGIS.

2.8.3. Metodología Hidro química

2.8.3.1. Mapa de isoconcentración

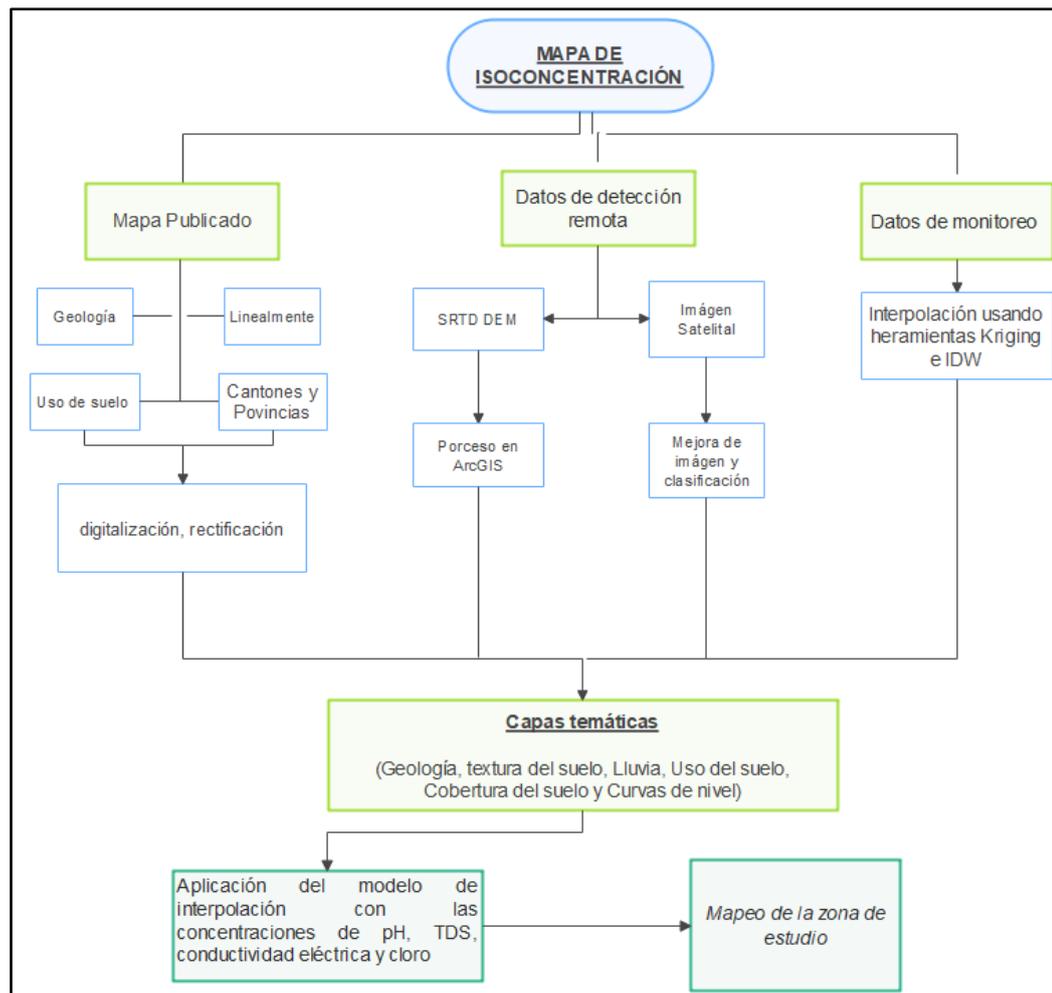


Figura 4-2. Metodología para mapas de isoconcentración

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.8.3.2. Diagrama de Piper

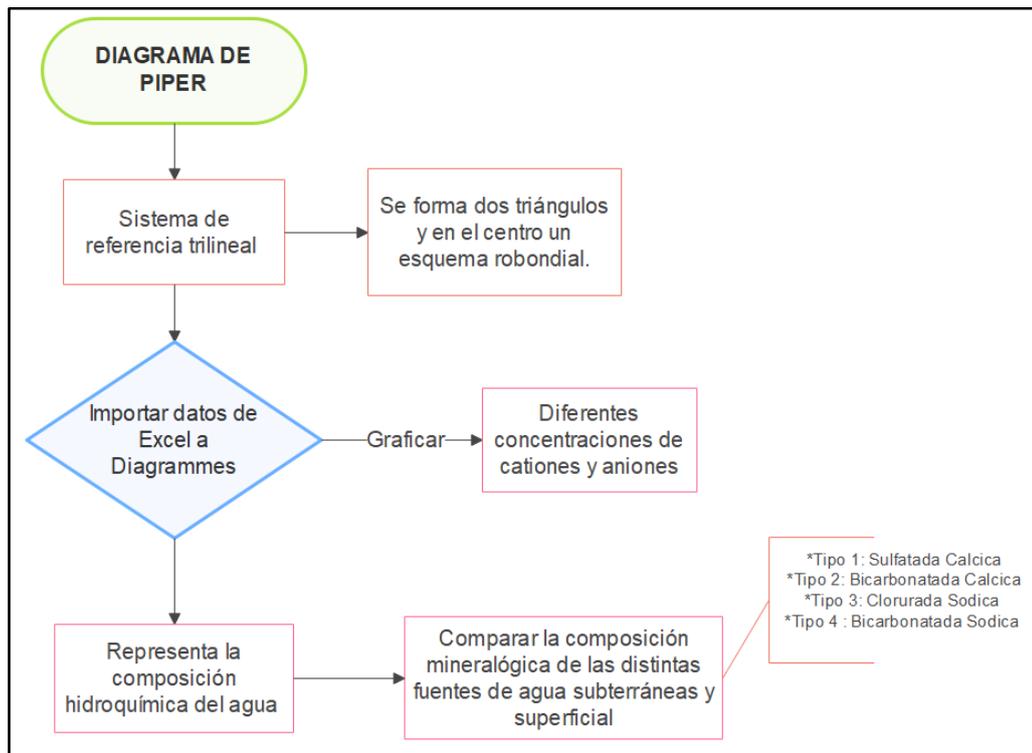


Figura 5-2. Metodología para diagrama de Piper

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.8.3.3. Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico

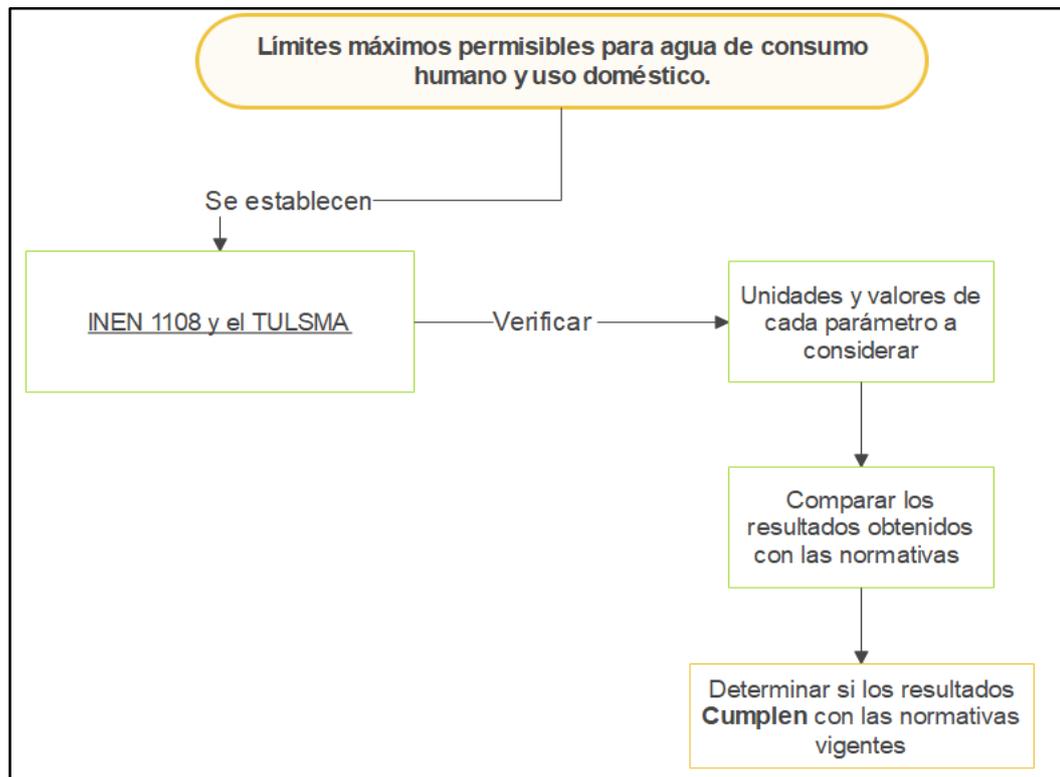


Figura 6-2. Metodología para límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.9. Tratamiento de los datos isotópicos

El análisis de los datos isotópicos de Oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$) y Deuterio ($\delta^2\text{H}$) consta de 36 muestras de agua subterránea, superficial y de precipitación, las cuales fueron recolectadas y codificadas según el sitio de muestreo, considerando 13 vertientes, 1 laguna, 3 puntos del Río Chibunga, 1 mina de Hielo, 11 pozos y 7 colectores de lluvia.

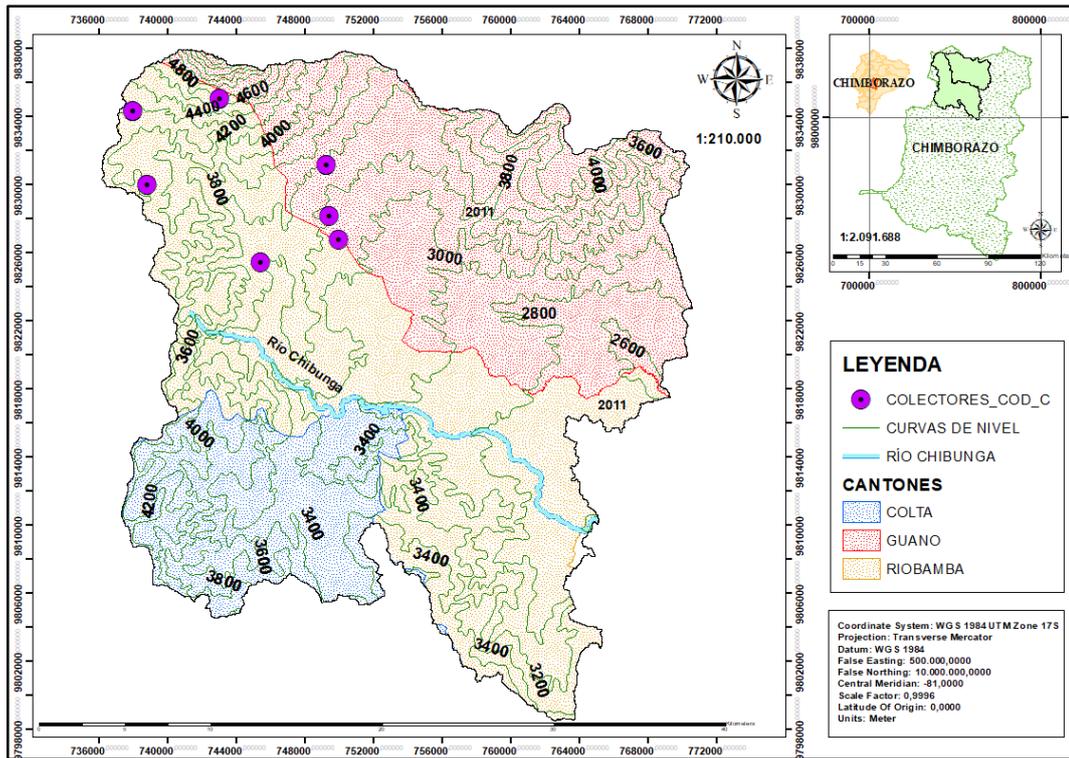


Figura 7-2. Mapa puntos colectores de lluvia

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

2.9.1. Recolección de muestras

El proceso de recolección de muestras se realizó en los meses de agosto 2021 (época seca) y enero 2022 (época lluviosa), este se basó en el protocolo de muestreo de la Universidad de Cuenca para análisis isotópicos. Las muestras recolectadas fueron depositadas con la ayuda de una jeringa de 10 ml y un filtro PET de 0.20 micras en viales de cristal ámbar de 2 ml con tapón con septum. Posteriormente se almacenaron en fundas ziploc previamente esterilizadas evitando el contacto de la luz solar y fueron enviadas a los laboratorios para su análisis.

Tabla 4-2. Puntos colectores de lluvia

Identificación	Lugar	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)	Tipo de agua
C1	SANTA LUCIA DE CHUQUIGYO 1	-1,51923	-78,76030	3606,00	Lluvia
C4	SANCAPAMBA	-1,55380	-78,75850	3391,00	Lluvia
C5	PULINGUI	-1,56566	-78,75383	3303,00	Lluvia
C6	CHIMBORAZO LA Y	-1,57759	-78,79461	3427,00	Lluvia
C8	LA CHORRERA-CHACANA	-1,53550	-78,83210	3833,00	Lluvia
C9	ENTRADA CHIMBORAZO	-1,49744	-78,87476	4368,00	Lluvia

C10	HIELEROS	-1,49559	-78,80064	4790,00	Lluvia
-----	----------	----------	-----------	---------	--------

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Las muestras de agosto 2021 fueron analizadas en colaboración con la Universidad de Turín, en el Departamento de Física y Ciencias de la Tierra de la Universidad de Ferrara. Mientras que las muestras de enero 2022 se analizaron en la Universidad de Cuenca en el laboratorio del departamento de recursos hídricos y ciencias ambientales.

2.9.2. Metodología isotópica

2.9.2.1. Recta meteórica

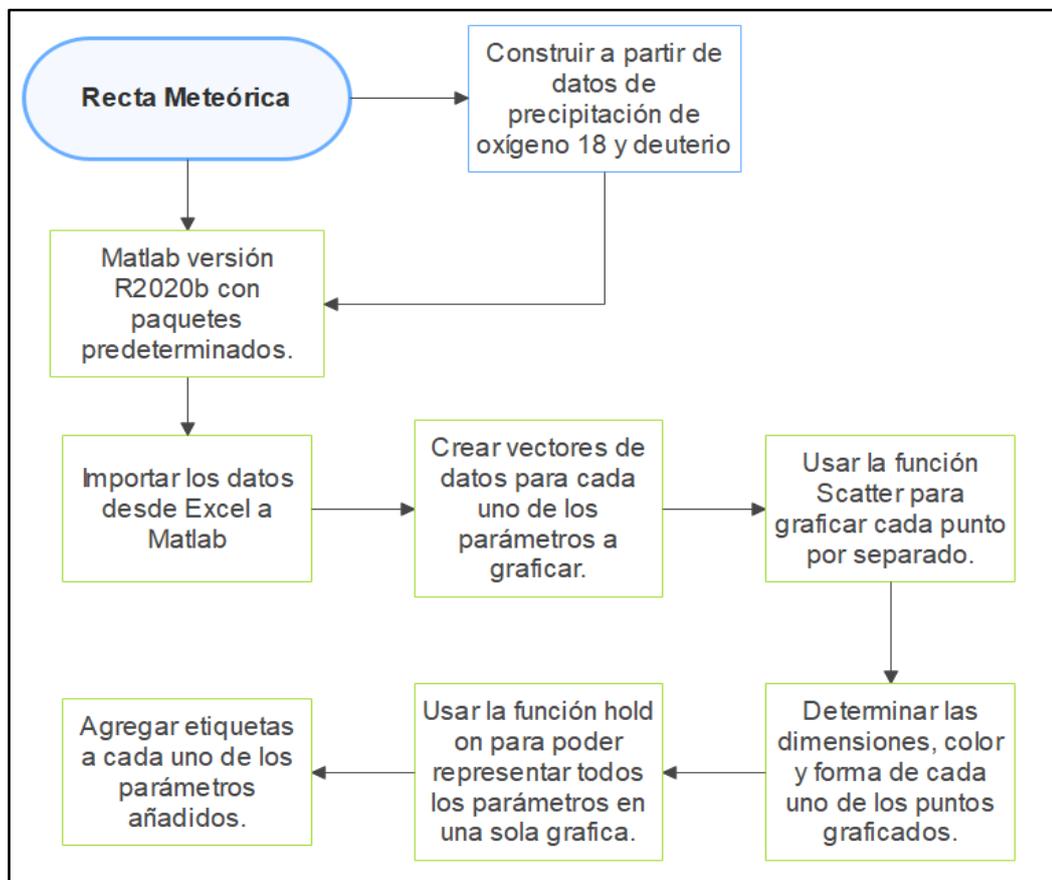


Figura 8-2. Metodología para Recta Meteórica

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Análisis Hidroquímico

3.1.1. Calidad de los datos hidroquímicos

El estudio de la calidad de los datos hidroquímicos fue determinado por medio del análisis estadístico, donde podemos resumir el conjunto de datos obtenidos de las diferentes épocas estacionales (seca y lluviosa) consideradas para el estudio, logrando establecer intervalos de valores mínimos y máximos, media y desviación estándar, las cuales nos permiten establecer la medida de tendencia central.

Tabla 1-3. Valores extremos medidas de tendencia central y variabilidad (época seca)

Parámetro	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	σ
pH	5,65	9,17	6,85	0,907
Temperatura	7,10	19,08	13,2	3,167
Conductividad Eléctrica	10,00	1740,00	633	396,648
Solidos Totales Disueltos	9,64	678,29	366,58	189,798
Li+	0,03	0,26	0,07	0,051
Na+	0,99	219,24	39,36	41,002
K+	0,15	54,67	7,35	9,991
Ca++	0,92	74,18	35,83	14,909
Mg++	0,16	80,45	31,44	17,428
Cl-	1,11	105,93	14,89	20,209
HCO3-	1,54	391,20	222,53	86,694
SO4=	0,44	438,45	75,81	98,533
NO3-	0,00	56,00	14,90	13,695

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 2-3. Valores extremos medidas de tendencia central y variabilidad (época lluviosa)

Parámetro	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	σ
pH	5,15	8,33	7,06	0,784
Temperatura	6,10	24,00	15,9	4,274
Conductividad Eléctrica	10,00	1000,00	349,4	301,178
Solidos Totales Disueltos	9,57	429,78	188,4	120,905
Li+	0,00	1,30	0,7	0,919
Na+	0,76	172,00	24,7	32,078
K+	0,12	55,67	5,5	10,065

Ca ⁺⁺	1,00	48,10	26,0	10,189
Mg ⁺⁺	0,18	92,42	42,0	17,242
Cl ⁻	1,19	88,65	34,3	21,235
HCO ₃ ⁻	6,21	237,94	116,5	50,106
SO ₄ ⁼	0,46	326,60	206,5	59,270
NO ₃ ⁻	0,00	20,30	5,9	5,417

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los resultados obtenidos en los Laboratorios de la Universidad de Turín y la ESPOCH tanto para época seca como para lluviosa respectivamente, fueron comparados y contrastados con valores permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108-2011, donde los resultados obtenidos en su gran mayoría no sobrepasan los límites máximos permisibles que establecen estas dos normativas. Los parámetros que no cumplen con los valores establecidos en las normativas y que sobrepasan su límite máximo, posiblemente están siendo alterados por el incremento de las actividades antropogénicas como la actividad ganadera, agrícola y aguas domésticas.

El análisis estadístico básico reveló que el Ca²⁺, el Mg²⁺, SO₄²⁻, F⁻, Cl⁻ son parámetros seguros (valores de concentración muy por debajo de los límites establecidos en el TULSMA y la Normativa INEN 1108 para el agua potable) tanto en el mes de agosto 2021 como en febrero 2022. Sin embargo, los nitratos presenta valores de concentración mayor que sus límites permisibles para beber durante ambas estaciones. Esto quiere decir que la calidad del agua en la microcuenca del Río Chibunga en variaciones estacionales es estable y relativamente buena.

De la misma manera, se logró evidenciar la dispersión gracias a la desviación estándar que nos muestra una variabilidad aleatoria donde a mayor variación mayor es el riesgo que se corre. Las variables con menor dispersión en las dos épocas corresponden a pH, Li⁺, temperatura, K⁺ y Ca⁺. La Desviación Estándar más baja la presentaron las variables de Li⁺ con un valor de 0,051 (época seca) y 0,919 (época lluviosa), pH con 0,907 (época seca) y 0,784 (época lluviosa) y Ca⁺ con un valor de 14,909 (época seca) y 10,189 (época lluviosa). Estas variables no presentaron gran variación en las diferentes épocas estacionales. Los parámetros hidroquímicos que mayor dispersión presentaron fueron SO₄²⁻, conductividad eléctrica, HCO₃⁻ y sólidos totales disueltos con valores en la desviación estándar de 98,533 (época seca) y 59,270 (época lluviosa); 396,648 (época seca) y 301,178 (época lluviosa); 86,694 (época seca) y 50,106 (época lluviosa); 189,798 (época seca) y 120,905 (época lluviosa), respectivamente.

3.1.1.1. Clasificación y evolución hidroquímica

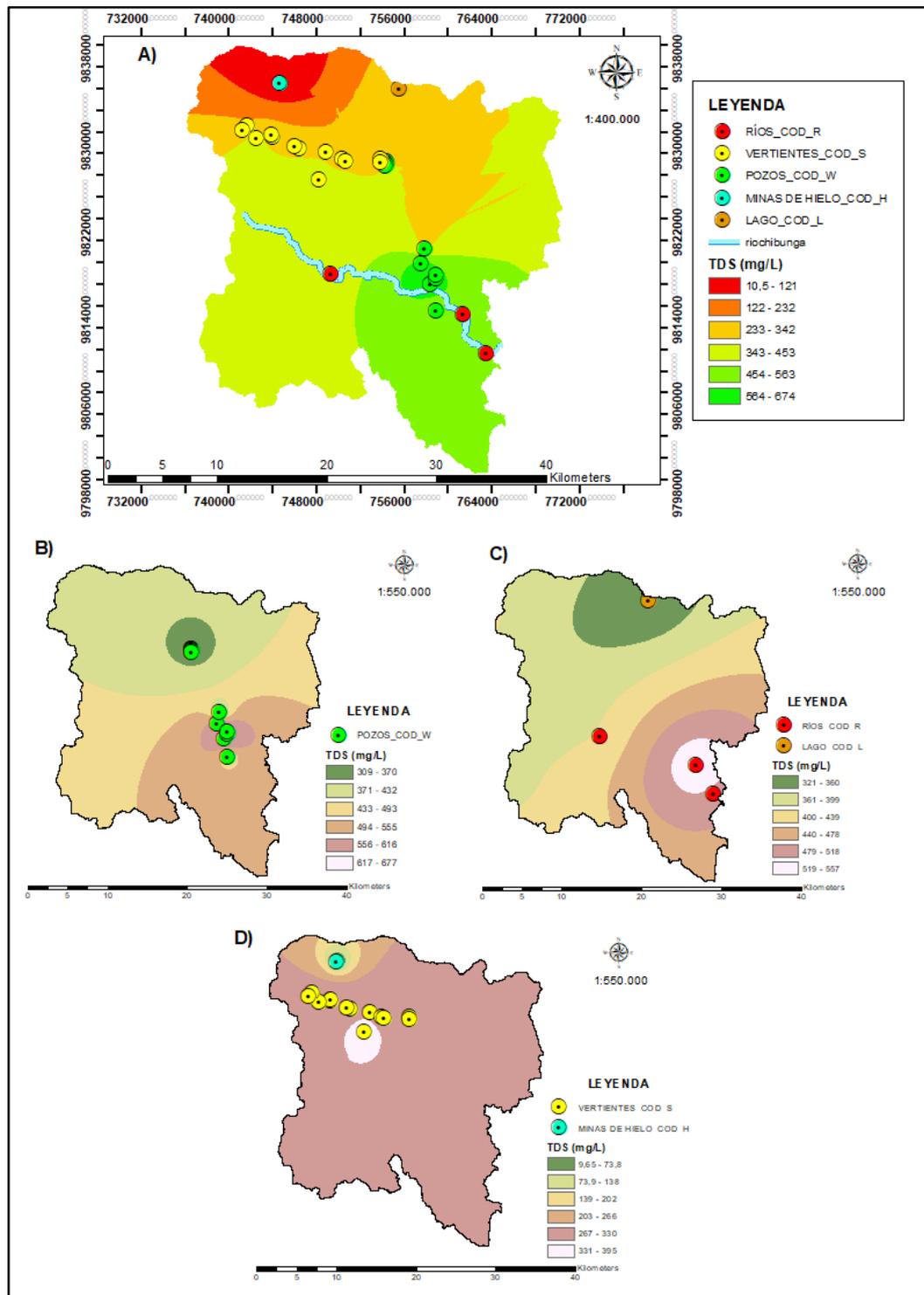


Figura 1-3. Variación temporal y espacial de sólidos totales disueltos (TDS) en agosto 2021 (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

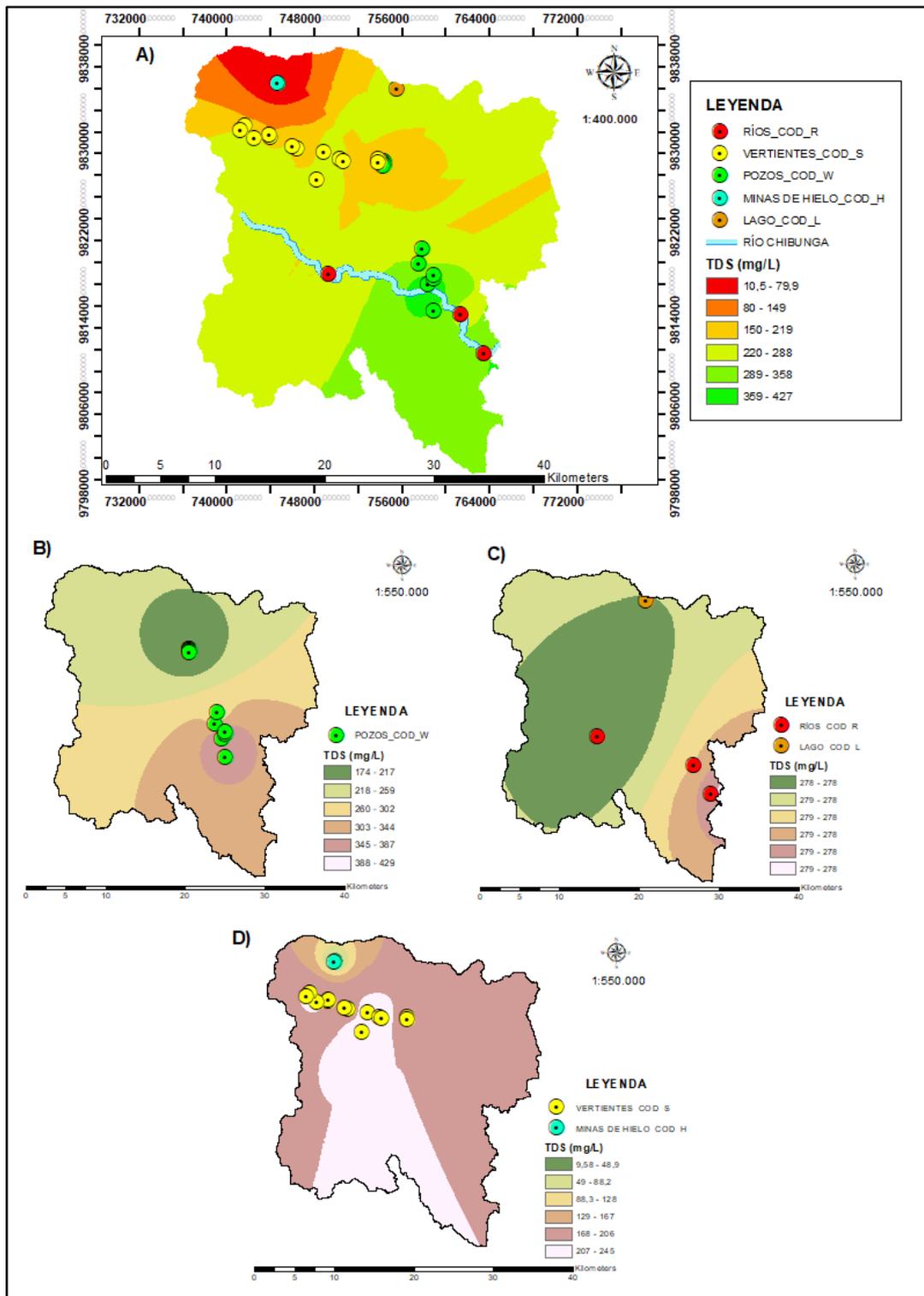


Figura 2-3. Variación temporal y espacial de sólidos totales disueltos (TDS) en febrero 2022 (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 3-3. Resultados sólidos totales disueltos (TDS)

Identificación	Lugar	Agosto 2021 TDS (ppm)	Febrero 2022 TDS (ppm)
S12	AUCACAN	326,94	241,94
S13	LA SILVERIA	282,85	227,38
S14	LA UNION 2	324,69	211,80
S16	LA MOYA	394,67	235,94
S17	CURIPOGYO	318,23	162,98
S18	TAMBOHUASHA	300,13	239,32
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	293,08	171,17
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	319,34	155,04
S24	SAN PABLO 1	293,99	213,61
S25	SAN PABLO 2	272,73	146,20
S26	MESARUMI 1	366,44	245,53
S28	LA CHORRERA 1	252,10	174,18
S39	LA CHORRERA 12	298,17	223,47
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	320,34	266,75
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	404,86	222,93
R5	PARQUE ECOLOGICO	556,95	253,11
R6	LICTO-CHAMBO	499,67	369,62
W4	LLIO POZO 1	305,95	177,63
W5	LLIO POZO 2	316,49	185,61
W6	LLIO POZO 6	437,63	228,84
W7	LLIO POZO 7	338,12	139,50
W8	LLIO POZO 4	388,79	233,11
W9	El Estadio	445,06	359,09
W10	La Huerta	678,29	429,78
W11	Servidores	582,64	395,02
W12	24 de Mayo	621,05	288,44
W13	Santa Ana	315,51	252,12
W14	21 de abril	POZO EN MANTENIMIENTO	320,94
H1	MINAS DE HIELO	9,64	9,57

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

TDS se compone principalmente de sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que se disuelve en agua que dependen principalmente de los carbonatos, cloruros, fosfatos, nitratos, magnesio, sodio y potasio. En el área de estudio actual observamos una variación de 9,64 a 678,290 mg/L en época seca y de 9,57 a 429,78 mg/L en época lluviosa, lo cual representa en su mayoría valores que no están fuera de los límites permisibles.

Mientras que en las aguas de vertientes y de la mina de hielo se define como agua no contaminada o de agua dulce indicando que el 100% de las muestras se encuentran por debajo de lo deseable para el agua potable. Los valores que se muestran en los mapas de isoconcentración, muestran que la presencia de Sólidos Disueltos Totales está por debajo de los valores establecidos en el TULSMA y la Normativa INEN 11108 en las dos épocas de estudio.

La cantidad de TDS en el agua subterránea se incrementa luego de los 3400 msnm en los sectores de Riobamba, Llío-San Pablo y los puntos de Río, donde alcanza valores superiores a los 343 mg/L y 220 mg/L sugiriendo una mezcla por la presencia de aguas salobres a nivel subterráneo, donde las concentraciones pueden variar de una zona a otra debido a los diferentes usos de suelo donde las solubilidades de los minerales son distintas.

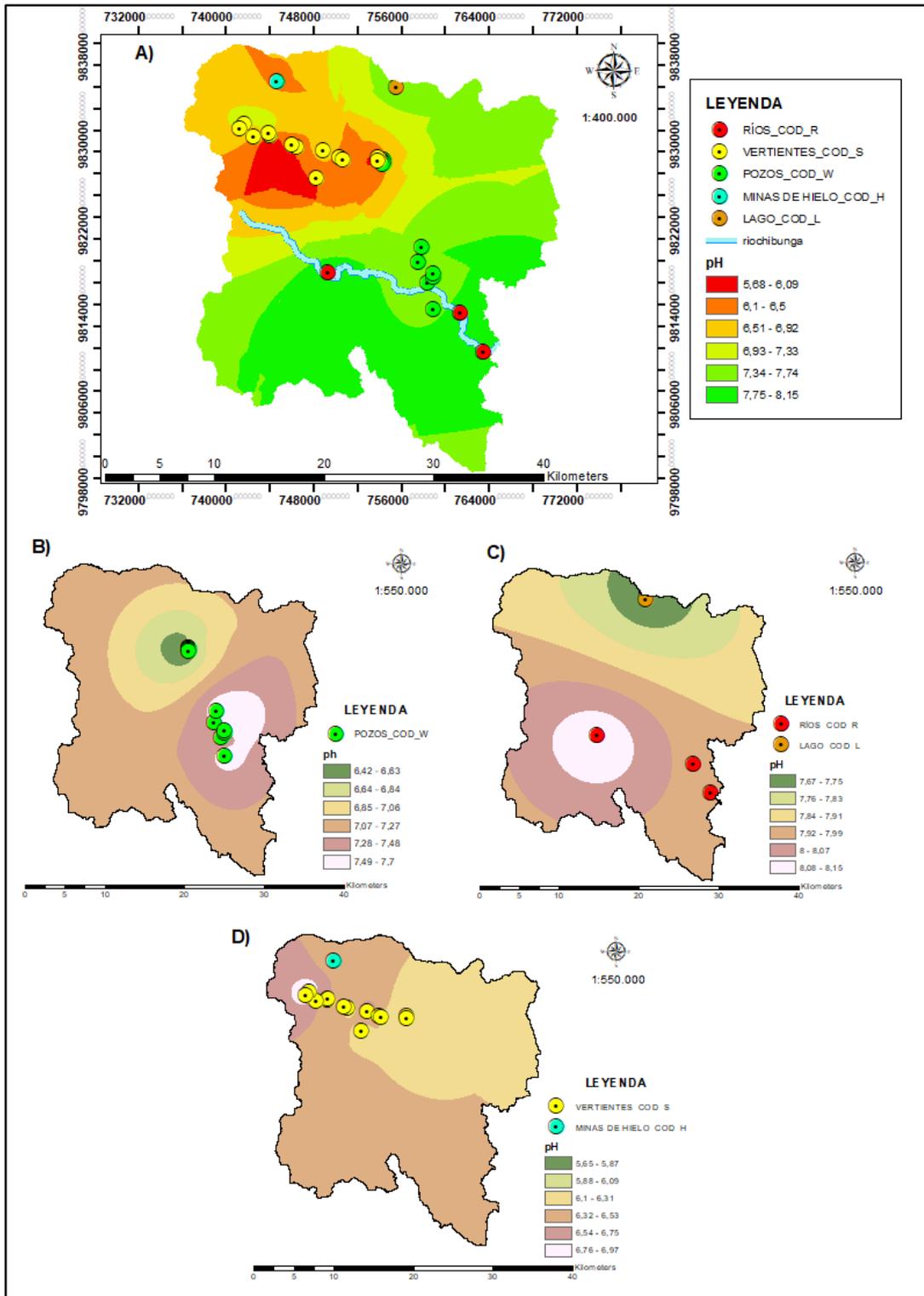


Figura 3-3. Variación temporal y espacial de pH en agosto 2021 (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

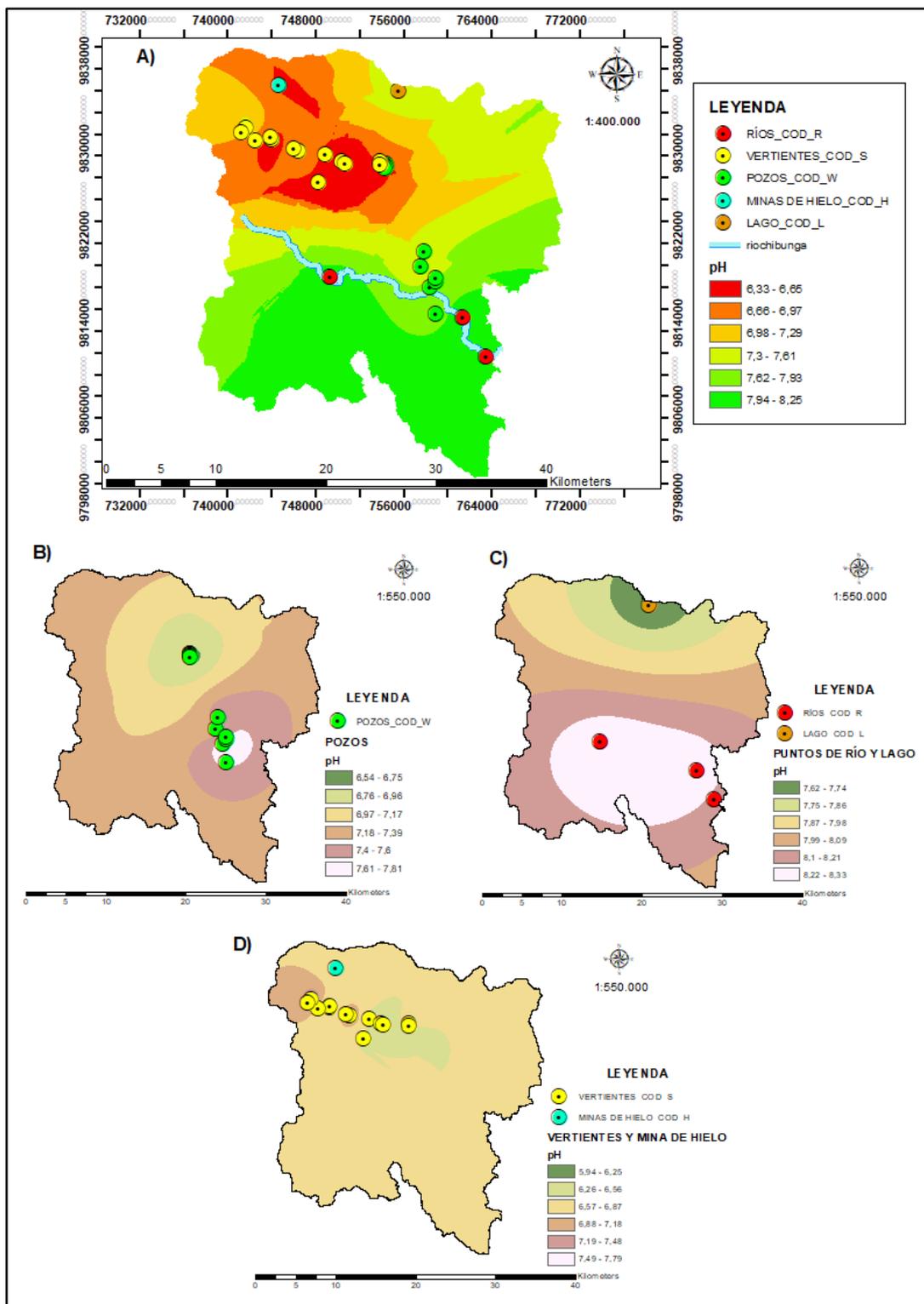


Figura 4-3. Variación temporal y espacial de pH en febrero 2022 (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 4-3. Resultados pH

Identificación	Lugar	Agosto 2021 (pH)	Febrero 2022 (pH)
S12	AUCACAN	6,92	6,45
S13	LA SILVERIA	6,27	6,55
S14	LA UNION 2	6,27	6,25
S16	LA MOYA	6,15	6,50
S17	CURIPOGYO	6,05	7,24
S18	TAMBOHUASHA	6,44	7,01
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	5,65	5,85
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	7,14	6,85
S24	SAN PABLO 1	6,09	6,97
S25	SAN PABLO 2	6,10	6,18
S26	MESARUMI 1	6,51	6,75
S28	LA CHORRERA 1	6,96	7,80
S39	LA CHORRERA 12	6,97	6,85
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	7,67	7,62
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	8,15	8,33
R5	PARQUE ECOLOGICO	7,95	8,30
R6	LICTO-CHAMBO	7,95	8,16
W4	LLIO POZO 1	6,62	6,73
W5	LLIO POZO 2	6,55	6,64
W6	LLIO POZO 6	6,52	6,5
W7	LLIO POZO 7	6,68	6,53
W8	LLIO POZO 4	6,41	6,69
W9	El Estadio	7,61	7,63
W10	La Huerta	7,31	7,83
W11	Servidores	7,37	7,57
W12	24 de Mayo	7,50	7,11
W13	Santa Ana	7,70	7,62
W14	21 de Abril	POZO EN MANTENIMIENTO	7,64
H1	MINAS DE HIELO	6,32	6,53

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los niveles de pH más altos demuestran una naturaleza corrosiva del agua, debido a que reduce la tasa de actividad fotosintética y la asimilación de dióxido de carbono. Los valores bajos de oxígeno coinciden con la temperatura alta que provocan cambios en el pH del agua, puesto que a medida que nos acercamos a la zona antrópica la temperatura aumenta, donde el pH disminuye porque las moléculas se separan en sus elementos: hidrógeno y oxígeno, de igual forma mientras más nos acercamos a los páramos con vegetación arbustiva y herbácea existe una disminución de temperatura que implica un aumento en el pH, de manera que al aumentar la proporción de moléculas descompuestas se produce más hidrógeno (Araoy, 2009, p.271-274). Las variaciones de pH que se presentan en las Ilustraciones 18-3 y 19-3, demuestran que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango de valor de referencia del agua potable del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) que es de 6-9, donde el mes de agosto 2021 indica una media ligeramente ácida de 6,85, mientras que en el mes de febrero 2022 los sectores localizados muestran una media de 7,06, indicando que las aguas varían de neutras a ligeramente alcalinas.

Al comparar los valores de pH de las distintas épocas se constató un aumento en el pH de los puntos de río, esto podría deberse a un cambio elevado en la temperatura o por contaminación antropogénica. Además, se puede evidenciar que los valores de pH en pozos variaron de 6,42 a 7,7 para época seca y 6,54 a 7,81 para época lluviosa, es decir que el pH del agua se encuentra dentro del límite aceptable por el TULSMA y concuerda con lo dicho por Krishna Kumar, et al (2014, p.341–350) que reportaron que la mayoría de las muestras de agua subterránea en Chennai, Tamil Nadu, India varía de 6,3 a 8,0 con un valor promedio de 7,26, lo que indica a nivel general que el agua subterránea es de naturaleza ligeramente ácida a alcalina.

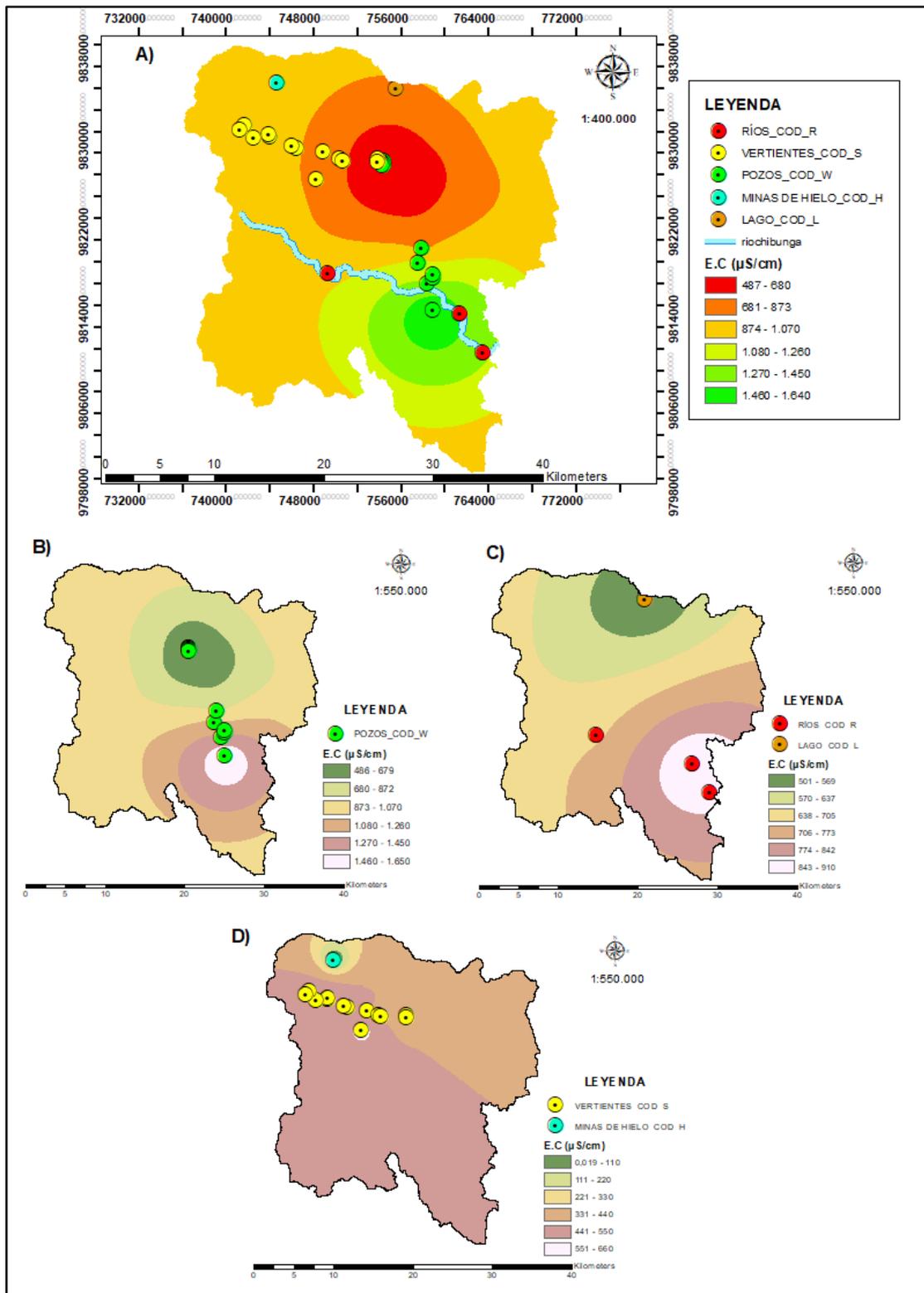


Figura 5-3. Variación temporal y espacial de conductividad eléctrica (E.C) en agosto 2021 (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

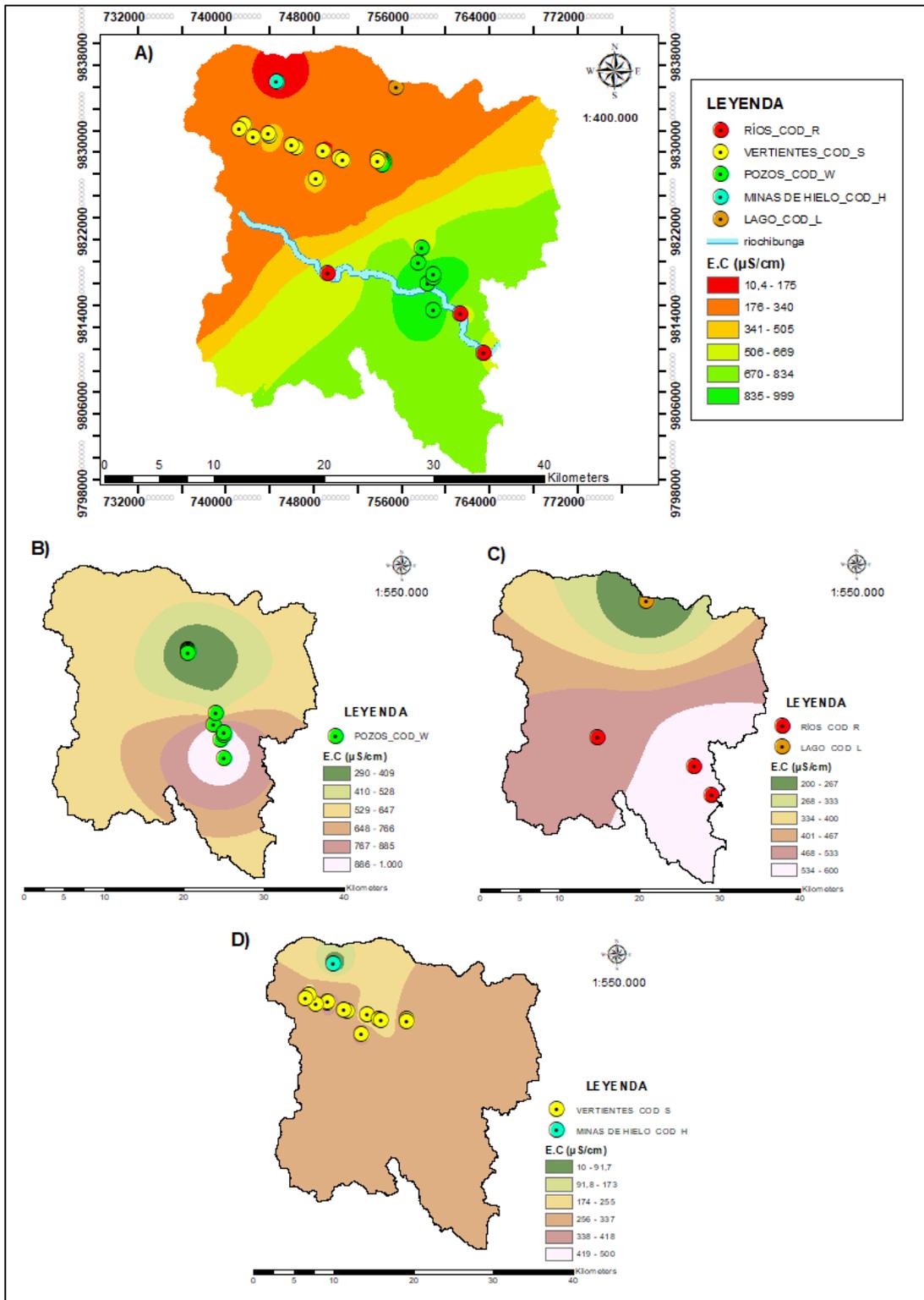


Figura 6-3. Variación temporal y espacial de conductividad eléctrica (E.C) en febrero 2022 (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 5-3. Resultados conductividad eléctrica

Identificación	Lugar	Agosto 2021 ($\mu\text{S/cm}$)	Febrero 2022 ($\mu\text{S/cm}$)
S12	AUCACAN	440	100
S13	LA SILVERIA	400	200
S14	LA UNION 2	450	200
S16	LA MOYA	620	400
S17	CURIPOGYO	450	300
S18	TAMBOHUASHA	470	300
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	660	500
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	420	300
S24	SAN PABLO 1	440	300
S25	SAN PABLO 2	360	300
S26	MESARUMI 1	500	300
S28	LA CHORRERA 1	450	200
S39	LA CHORRERA 12	480	300
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	500	200
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	700	500
R5	PARQUE ECOLOGICO	910	600
R6	LICTO-CHAMBO	870	600
W4	LLIO POZO 1	440	300
W5	LLIO POZO 2	450	300
W6	LLIO POZO 6	580	400
W7	LLIO POZO 7	450	300
W8	LLIO POZO 4	530	300
W9	El Estadio	1740	1000
W10	La Huerta	1200	1000
W11	Servidores	1200	900
W12	24 de Mayo	1200	900
W13	Santa Ana	760	500
W14	21 de abril	POZO EN MANTENIMIENTO	1000
H1	MINAS DE HIELO	40	10

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

La conductividad en la microcuenca del Río Chibunga se ve afectada principalmente por la geología de la zona en la cual fluye el agua. La tierra y las rocas descargan iones en las aguas que fluyen a través y por encima de ellas, siendo la geología de la zona de estudio quien determina la cantidad y el tipo de iones. La conductividad muestra una correlación significativa con la temperatura, por ende, al aumentar la temperatura, la conductividad aumenta también, esto debido a procesos de evaporación de agua de mar que luego son transferidos a aguas superficiales y subterráneas por precipitación y escorrentía (Pérez, 2020, pp.1-4).

Los mapas de variación temporal y espacial de conductividad eléctrica (EC), muestran que las zonas más cercanas al Volcán Chimborazo presentan bajos valores de conductividad eléctrica entre 41-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3.98-171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tanto para época seca como para lluviosa respectivamente. En las tierras altas se presentan bajas temperaturas por ende poseen una baja mineralización. Los valores más altos de este parámetro se encuentran en la zona urbana del área de estudio entre 1500-1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época seca y 838-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época lluviosa, estos presentan aguas mineralizadas y se encuentran en los pozos de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP EMAPAR), esto indica que el agua subterránea en la zona de estudio no es uniforme, pero difiere considerablemente según el lecho rocoso por el que fluyen donde dependen de su composición.

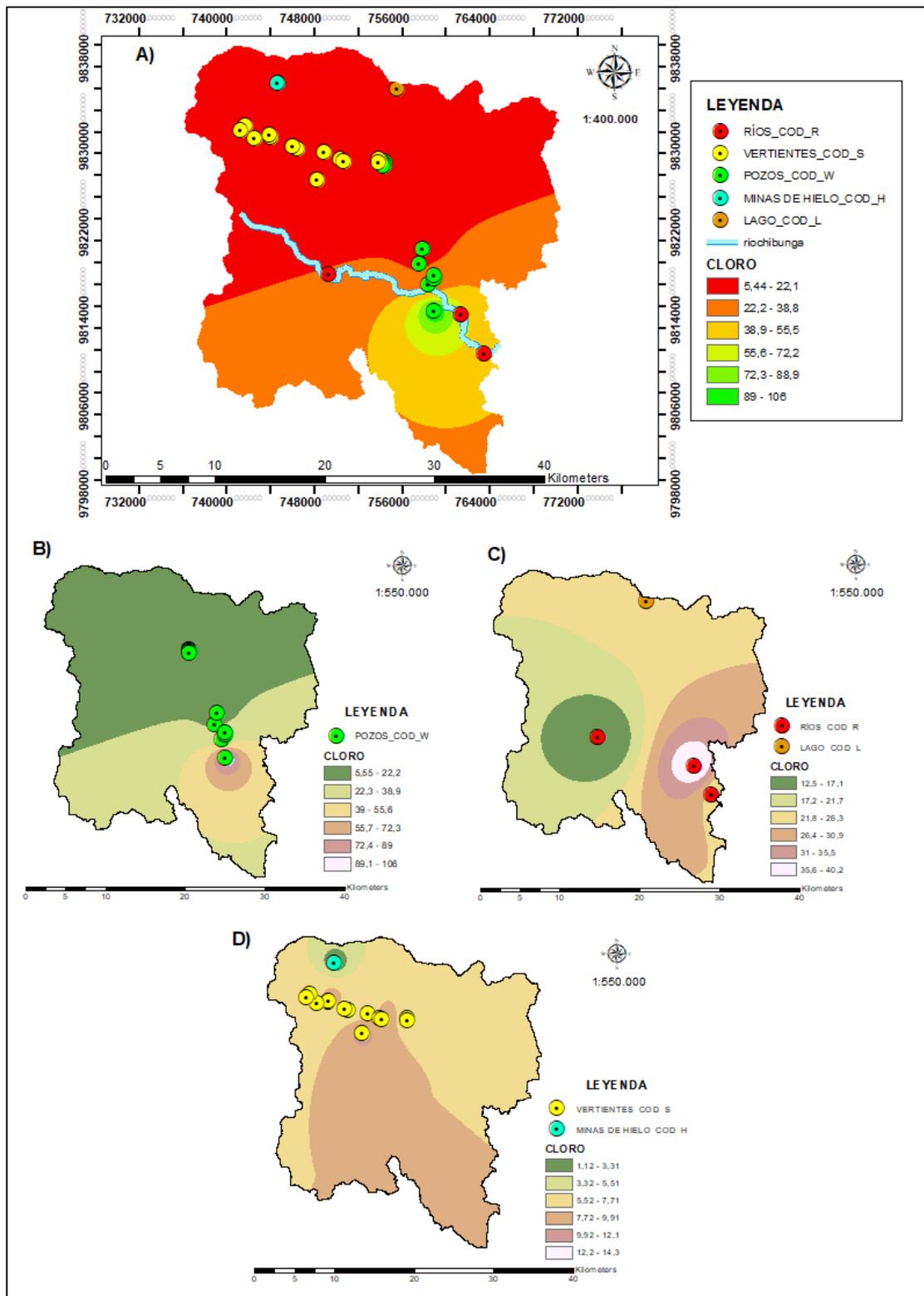


Figura 7-3. Variación temporal y espacial de cloro en agosto 2021 (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

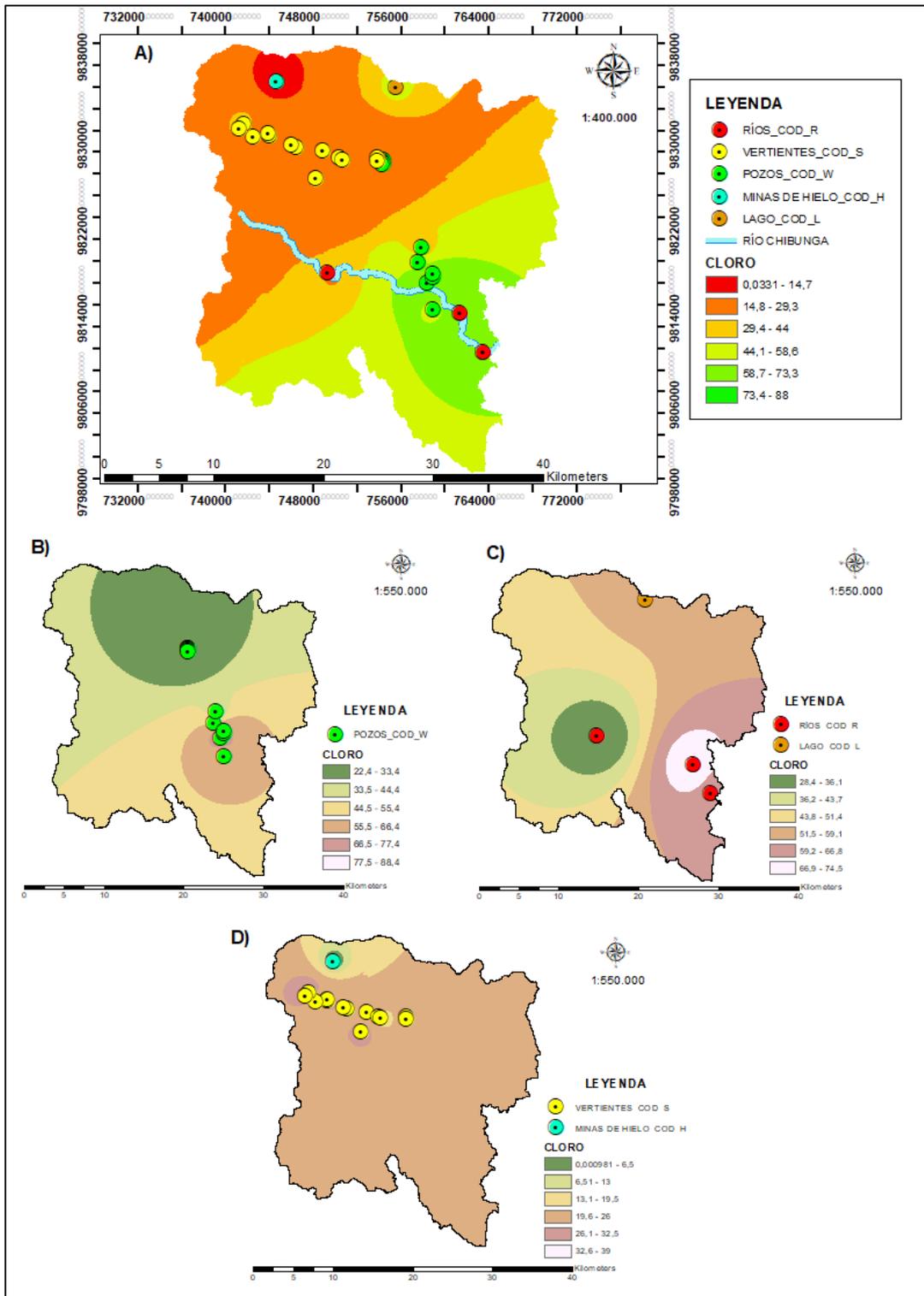


Figura 8-3. Variación temporal y espacial de cloro en febrero 2022 (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 6-3. Resultados Cloro

Identificación	Lugar	Agosto 2021 Cl- mg/L	Febrero 2022 Cl- mg/L
S12	AUCACAN	5,45807	17,73
S13	LA SILVERIA	6,955	28,368
S14	LA UNION 2	11,342	10,638
S16	LA MOYA	12,198	31,914
S17	CURIPOGYO	5,2537	17,73
S18	TAMBOHUASHA	7,8752	28,368
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	3,21	39,006
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	16,157	17,73
S24	SAN PABLO 1	6,42	17,73
S25	SAN PABLO 2	6,76668	24,822
S26	MESARUMI 1	1,74089	7,092
S28	LA CHORRERA 1	5,72878	35,46
S39	LA CHORRERA 12	8,37489	31,914
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	22,9001	53,19
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	12,5201	28,368
R5	PARQUE ECOLOGICO	40,1507	74,466
R6	LICTO-CHAMBO	21,568	60,282
W4	LLIO POZO 1	5,4677	24,822
W5	LLIO POZO 2	6,955	21,276
W6	LLIO POZO 6	6,79878	24,822
W7	LLIO POZO 7	5,60894	24,822
W8	LLIO POZO 4	6,78701	21,276
W9	Santa Lucia	105,93	53,19
W10	La Huerta	31,9224	88,65
W11	Servidores	26,6248	63,828
W12	24 de Mayo	19,5189	56,736
W13	Santa Ana	5,44309	24,822
W14	21 de abril		63,828
H1	MINAS DE HIELO	1,11494	1,194

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

En las aguas naturales el cloro es un elemento esencial que no es alterado por procesos biológicos, sin embargo, reacciona fácilmente con varias sustancias dando lugar a un consumo del cloro residual libre (Palacios, 2019, p. 51-54). Como se puede observar en las ilustraciones 22-3 y 23-3, existen cambios significativos respecto a la altura tanto para época seca como lluviosa, pues el aumento de la concentración de cloro va de acorde a la altitud, ya que entre más altitud menor concentración y a menor altitud mayor concentración.

En ríos es habitual que exista un incremento de concentraciones debido a la contaminación antrópica como el vertido de aguas residuales e industriales. El intercambio aniónico es el único proceso químico capaz de eliminar los cloruros del agua; sin embargo, algunos procesos físicos, como la evaporación y la osmosis inversa, pueden separar el agua en dos corrientes, una de ellas con un contenido reducido de cloruro y la otra con un contenido mayor (Aguamarket, 2021). Los resultados de pozos de febrero 2022 evidencian una alta concentración de cloruros esto puede ser atribuida a los depósitos sedimentarios por donde circula el agua subterránea, en este caso, las fuentes naturales de cloruro para las aguas dulces pueden incluir la meteorización de las rocas y el intercambio de iones en los suelos. Algunos de los minerales comunes que contienen cloruro incluyen halita (cloruro de sodio), silvita (cloruro de potasio) y carnalita (cloruro de potasio y magnesio hexahidratado) (Mamani, 2019, p.50-54). Mientras que en fases minerales (vertientes) es ocasionada por inclusiones fluidas e incorporaciones de agua debido a la evaporación, donde se ha demostrado que cantidades sustanciales de cloruro también pueden estar contenidas en la vegetación y en las raíces de las cuencas hidrográficas.

En la actualidad el aumento de la frontera agrícola y el cambio en el uso de la tierra pueden aumentar las concentraciones de cloruro y contribuir a la salinización del agua dulce en ambientes húmedos. Jackson & Jobbágy (2005, p. 14487–14488) informaron un aumento de la salinización y las concentraciones de cloruro debido a la evapotranspiración de las plantas y las alteraciones en los niveles de las aguas subterráneas como resultado del aumento de las plantaciones de árboles. Además, documentaron que los aumentos en las concentraciones de cloruro en las aguas dulces de las cuencas o microcuencas de los ríos se debe al rápido crecimiento de la población, la expansión urbana y el aumento de las descargas sépticas y de aguas residuales.

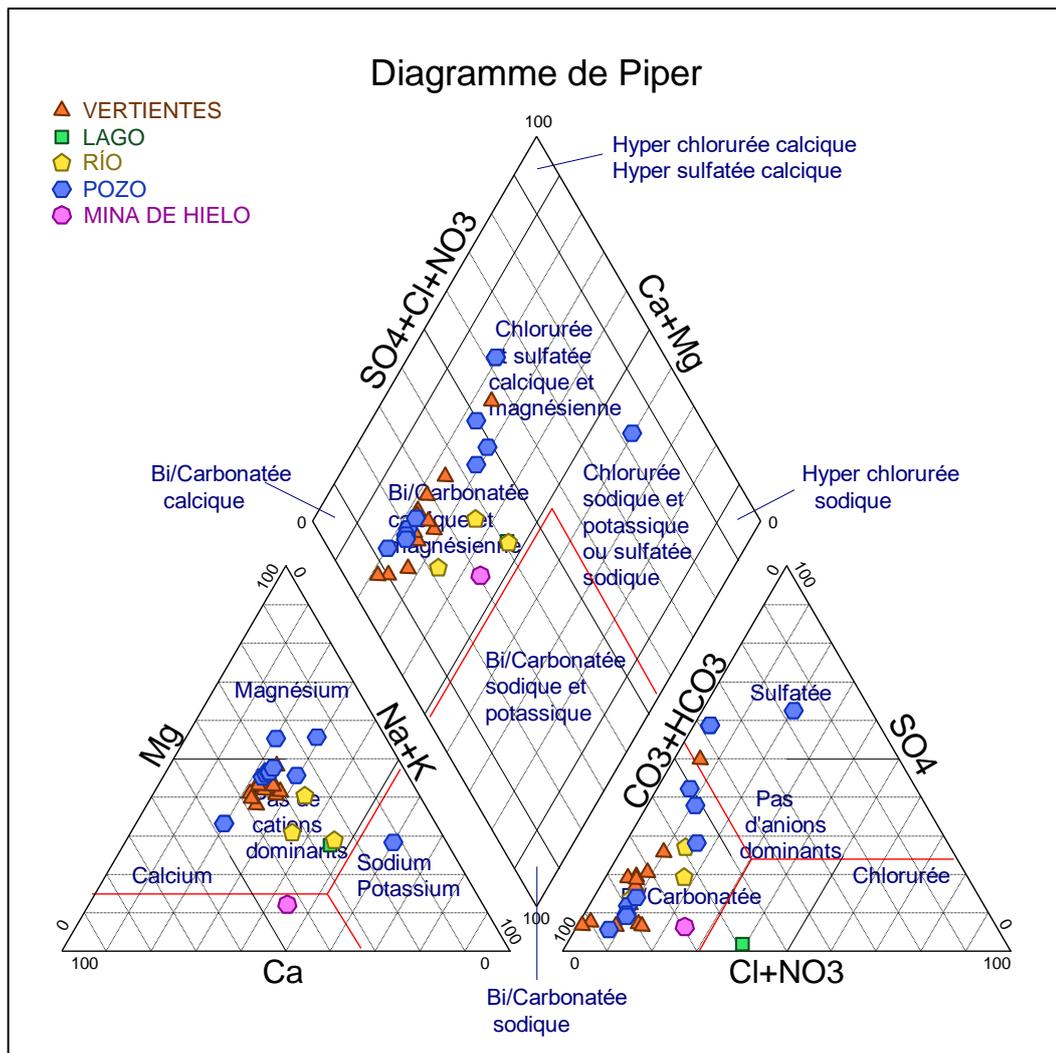


Figura 9-3. Diagrama de Piper de Aniones y Cationes período 2021 (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

La composición hidroquímica de las aguas subterráneas y superficiales, muestran una predominancia en los iones de bi/carbonatos cálcicos/magnésicos, su presencia es importante ya que contribuye a mantener el balance iónico y evitan propiedades corrosivas o incrustantes, en su mayoría provienen de la disolución de minerales carbonatados, la descomposición de la materia orgánica, la respiración de los animales acuáticos y el intercambio del ciclo del carbono. Se tienen 3 puntos que sobresalen de ellos, y son (pozos W9, W14 y vertiente S21) que presentan características de aguas cloradas esto puede surgir debido al almacenamiento cercano de sales o rocas saladas, la disolución de desechos industriales salados. Las aguas en las que predominan los iones bicarbonato y sodio son consideradas jóvenes, poco evolucionadas; mientras, que en las que predomina las cloruradas tienen largo tiempo de residencia en el acuífero.

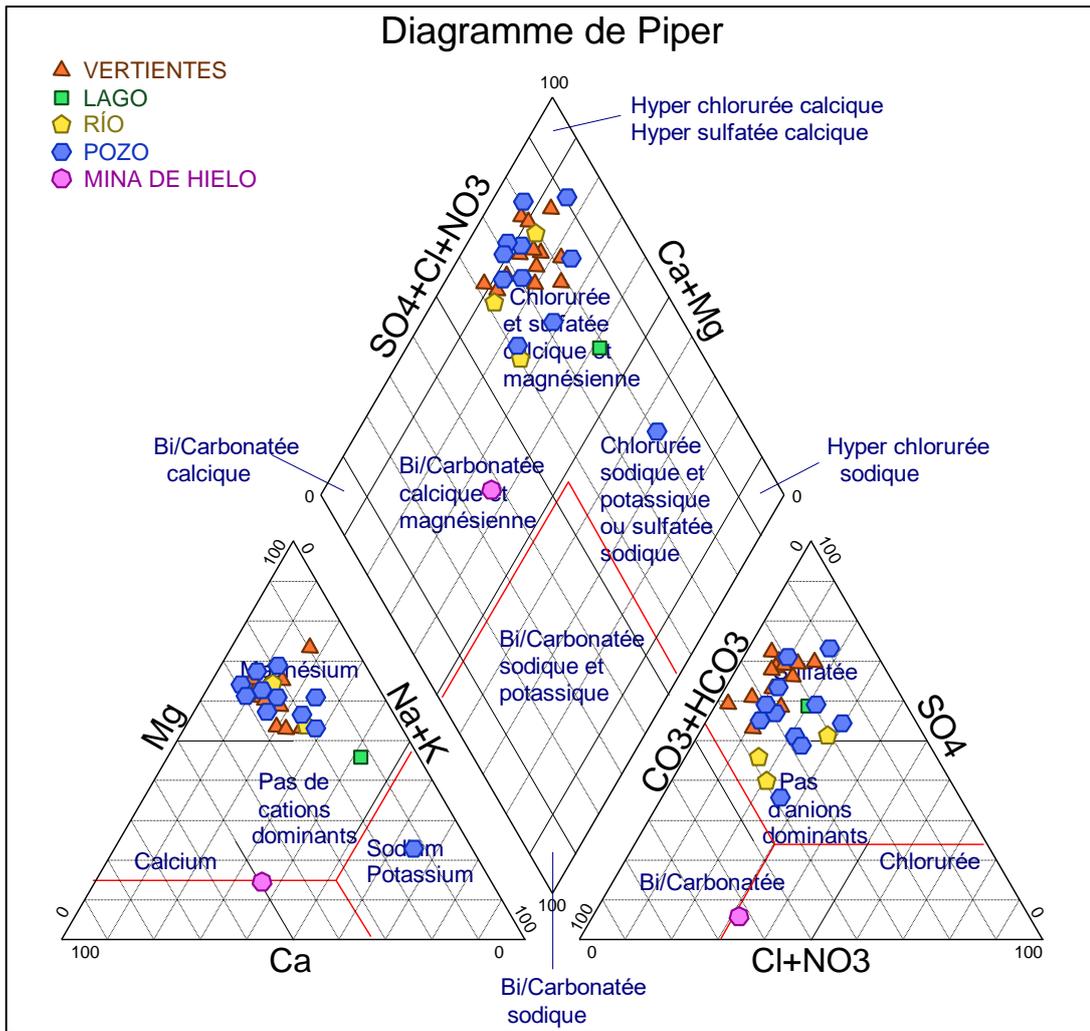


Figura 10-3. Diagrama de Piper de Aniones y Cationes período 2022 (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

El diagrama de Piper refleja los procesos hidroquímicos donde los datos recopilados se distribuyen en un rango estrecho de cloruros/sulfatos de calcio/magnesio que fueron los más abundante en las muestras de agua superficial y subterránea, estas especies son importantes en el agua, pues tienen acceso a las aguas naturales en muchas formas debido a su poder disolvente en agua se introducen en la capa vegetal y en las formaciones más profundas (Krishna, et al, 2014: p.341–350). El cloruro se encuentra en casi todas las aguas y se deriva de varias fuentes, incluidos los depósitos minerales naturales; intrusión de agua de mar o rocío de mar en el aire; vertidos agrícolas o de riego; escorrentía urbana por el uso de sales de deshielo; o de aguas residuales y efluentes industriales. El agua de precipitación recoge impurezas mientras pasa a través del aire, los ríos y quebradas recogen impurezas provenientes del suelo y de las descargas de aguas residuales domésticas, llevándolas hacia los lagos y mares, esto se debe a la permeabilidad del suelo donde por medio de fisuras, huecos pocos profundos o grietas que permiten el flujo del agua (UCGS, 2019).

3.2. Análisis isotópicos

Tabla 7-3. Tabla de valores isotópicos y fecha de muestreo (época seca)

Identificación	Fecha	Lugar	d ² H (‰)	d ¹⁸ O (‰)	d-exceso
S12	7/8/2021 14:20	AUCACAN	-101,10	-14,43	14,32
S13	15/8/2021 8:57	LA SILVERIA	-100,97	-14,74	16,94
S14	7/8/2021 14:00	LA UNION 2	-99,21	-14,46	16,44
S16	15/8/2021 8:15	LA MOYA	-100,29	-14,62	16,64
S17	15/8/2021 9:38	CURIPOGYO	-100,08	-14,36	14,82
S18	15/8/2021 10:05	TAMBOHUASHA	-102,07	-14,43	13,37
S20	15/8/2021 10:50	CUARTEL DE LOS INCAS	-103,95	-14,59	12,74
S21	15/8/2021 11:05	CUARTEL DE LOS INCAS II	-108,39	-14,97	11,39
S24	15/8/2021 13:05	SAN PABLO 1	-97,83	-14,05	14,59
S25	11/8/2021 12:11	SAN PABLO 2	-97,72	-14,26	16,33
S26	7/8/2021 11:38	MESARUMI 1	-107,41	-15,75	18,57
S28	7/8/2021 11:05	LA CHORRERA 1	-105,15	-15,23	16,66
S39	7/8/2021 9:35	LA CHORRERA 12	-101,68	-14,85	17,10
L8	5/8/2021 9:38	YANAYACU-MOCHAPATA 7	-86,48	-11,96	9,16
R4	5/8/2021 11:00	CEMENTO CHIMBORAZO	-91,14	-12,72	10,59
R5	5/8/2021 12:00	PARQUE ECOLOGICO	-91,80	-12,65	9,41
R6	5/8/2021 12:44	LICTO-CHAMBO	-85,26	-11,72	8,52
W4	11/8/2021 11:24	LLIO POZO 1	-96,74	-14,06	15,73
W5	11/8/2021 11:30	LLIO POZO 2	-95,89	-14,02	16,25
W6	11/8/2021 11:40	LLIO POZO 6	-94,81	-14,01	17,24
W7	11/8/2021 11:12	LLIO POZO 7	-82,01	-10,78	4,22
W8	11/8/2021 11:00	LLIO POZO 4	-94,86	-14,02	17,30
W9	11/8/2021 9:18	El Estadio	-89,69	-12,11	7,21
W10	11/8/2021 8:45	La Huerta	-94,05	-13,59	14,68
W11	11/8/2021 9:02	Servidores	-92,97	-13,19	12,52
W12	11/8/2021 9:41	24 de Mayo	-94,57	-13,82	16,00
W13	11/8/2021 10:00	Santa Ana	-90,36	-13,60	18,41
W14	11/8/2021 12:34	21 de abril	0,00	0,00	0,00

C1	14/8/2021 15:50	SANTA LUCIA DE CHUQUIGYO 1	-117,08	-16,63	15,96
C4	14/8/2021 13:10	SANCAPAMBA	-107,38	-15,05	13,02
C5	14/8/2021 16:45	PULINGUI	-105,50	-14,36	9,42
C6	14/8/2021 17:55	CHIMBORAZO LA Y	-109,42	-15,61	15,47
C8	7/8/2021 10:30	LA CHORRERA-CHACANA	-118,07	-16,79	16,24
C9	14/8/2021 18:40	ENTRADA CHIMBORAZO	-117,08	-16,63	15,96
C10	14/8/2021 11:45	HIELEROS	-107,38	-15,05	13,02
H1	14/8/2021 11:20	MINAS DE HIELO	-105,50	-14,36	9,42

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Tabla 8-3. Tabla de valores isotópicos y fecha de muestreo (época lluviosa)

Identificación	Fecha	Lugar	d ² H (‰)	d ¹⁸ O (‰)	d-exceso
S12	26/1/2022 13:05	AUCACAN	-99,8780032	-13,6787227	9,55
S13	27/1/2022 18:30	LA SILVERIA	-100,9524550	-13,9185198	10,40
S14	26/1/2022 14:03	LA UNION 2	-99,4851931	-13,6137655	9,42
S16	27/1/2022 19:30	LA MOYA	-100,3981623	-13,7386154	9,51
S17	27/1/2022 17:00	CURIPOGYO	-101,3002555	-13,8550982	9,54
S18	27/1/2022 17:20	TAMBOHUASHA	-100,2766474	-13,6304301	8,77
S20	3/2/2022 9:50	CUARTEL DE LOS INCAS	-106,6527286	-14,6942976	10,90
S21	3/2/2022 10:10	CUARTEL DE LOS INCAS II	-103,3562687	-14,0642099	9,16
S24	10/2/2022 12:25	SAN PABLO 1	-97,5611882	-13,6035572	11,27
S25	10/2/2022 12:30	SAN PABLO 2	-97,2609608	-13,4824887	10,60
S26	13/2/2022 17:30	MESARUMI 1	-106,6460467	-14,6801299	10,79
S28	23/1/2022 14:40	LA CHORRERA 1	-99,0716632	-13,3869872	8,02
S39	23/1/2022 15:15	LA CHORRERA 12	-104,3757924	-14,3355467	10,31
L8	23/1/2022 9:35	YANAYACU-MOCHAPATA 7	-75,8080791	-9,9385150	3,70
R4	23/1/2022 12:30	CEMENTO CHIMBORAZO	-91,0151715	-12,1029436	5,81

R5	23/1/2022 10:40	PARQUE ECOLOGICO	-92,6454577	-12,5986324	8,14
R6	23/1/2022 11:40	LICTO-CHAMBO	-84,1028232	-11,4720015	7,67
W4	10/2/2022 11:52	LLIO POZO 1	-96,1139257	-13,3391306	10,60
W5	10/2/2022 11:56	LLIO POZO 2	-95,6846529	-13,3070880	10,77
W6	10/2/2022 12:05	LLIO POZO 6	-94,5893076	-13,1368186	10,51
W7	10/2/2022 11:45	LLIO POZO 7	-94,7267398	-13,1841600	10,75
W8	10/2/2022 11:35	LLIO POZO 4	-95,1733737	-13,1484858	10,01
W9	10/2/2022 10:50	El Estadio	-90,0245421	-11,4638876	1,69
W10	10/2/2022 9:00	La Huerta	-94,5095052	-12,6467970	6,66
W11	10/2/2022 9:20	Servidores	-93,4771000	-12,4511473	6,13
W12	10/2/2022 10:00	24 de Mayo	-96,2689671	-12,9624050	7,43
W13	10/2/2022 10:30	Santa Ana	-90,8178555	-12,4616178	8,88
W14	10/2/2022 9:35	21 de abril	-96,0676963	-12,8234538	6,52
C1	26/1/2022 11:30	SANTA LUCIA DE CHUQUIGYO 1	-59,4520288	-9,0518092	12,96
C4	26/1/2022 12:41	SANCAPAMBA	-56,5744272	-8,6159353	12,35
C5	26/1/2022 13:22	PULINGUI	-55,0820581	-8,2728004	11,10
C6	23/1/2022 14:15	CHIMBORAZO LA Y	-59,7049461	-8,7978236	10,68
C8	23/1/2022 16:30	LA CHORRERA-CHACANA	-89,2579371	-11,7361585	4,63
C9	13/2/2022 18:15	ENTRADA CHIMBORAZO	-92,5920021	-13,3058901	13,86
C10	13/2/2022 11:40	HIELEROS	-92,7067893	-13,3025960	13,71
H1	13/2/2022 11:05	MINAS DE HIELO	-108,195630	-14,952540	11,42

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

3.2.1. Recta meteórica local

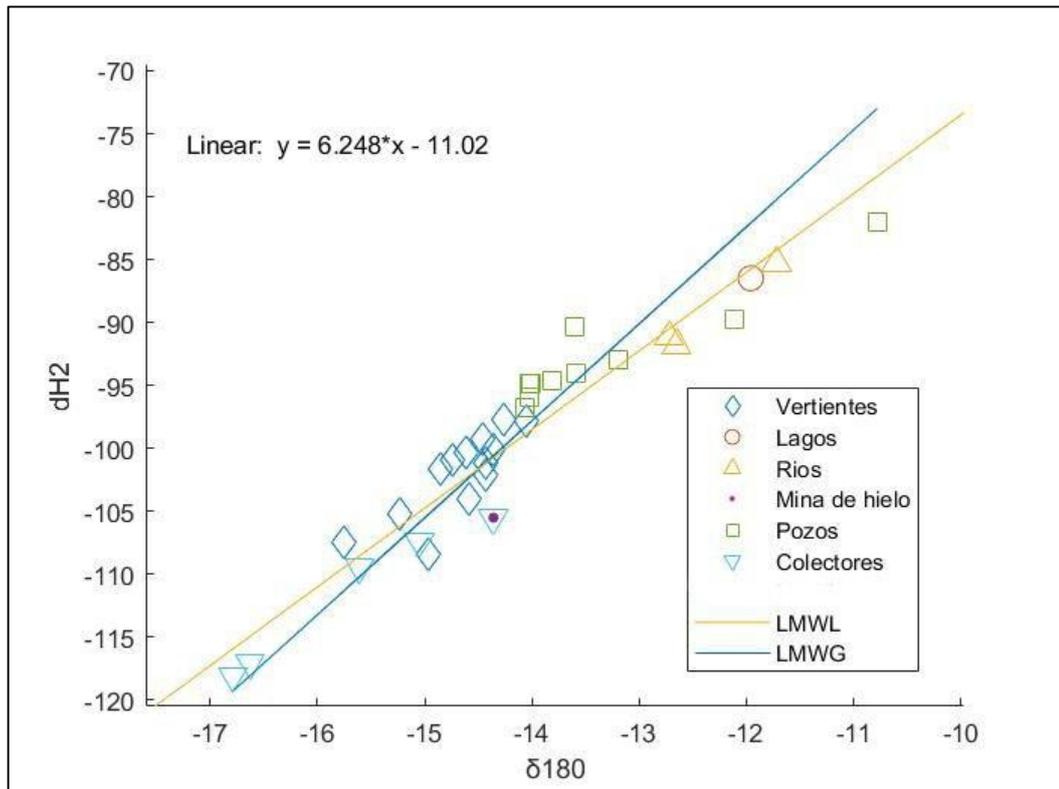


Figura 11-3. Recta meteórica local (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los puntos representativos de empobrecimiento isotópico corresponden a los colectores de lluvia (C8 Chorrera, C9 Entrada al Chimborazo, C6 Chimborazo la Y y C10 Hieleros) y a la vertiente S28 ubicada en la Chorrera Chacana, constatando el efecto de la altitud en la composición isotópica, sumando a ello las muestras obtenidas en los pozos (W9 Santa Lucía y W7 Llio Pozo 7), rios (R5 Parque Ecológico y R6 Licto Chambo) y el lago (L8 Yanayaku Mochapata) que presentan un enriquecimiento en su concentración, siendo consecuencia del intercambio isotópico durante la precipitación. Las muestras de agua de vertiente presentan una gran agrupación de puntos, mientras que las muestras tomadas de los pozos se encuentran dispersas, esta diferencia se debe a que sus aguas surgen de altitudes superiores a los 3000 m.s.n.m, mientras que los pozos se sitúan en altitudes menores a los 3000 m.s.n.m, presentando una mayor variación en su concentración que evidencian posibles mezclas de agua en las recargas en las distintas altitudes. De esta manera, las zonas cercanas a la recarga presentan una menor abundancia de isótopos estables con respecto a las cercanas a la descarga. A su vez la ubicación de los puntos de muestreo en la recta meteórica indica un fraccionamiento isotópico por la infiltración, lo cual prueba que este proceso se podría relacionar con factores como la evaporación del agua durante su paso por

la zona no saturada del suelo o el aporte de la interacción agua-roca en el acuífero (McLaughlin, 2017: pp.53-62).

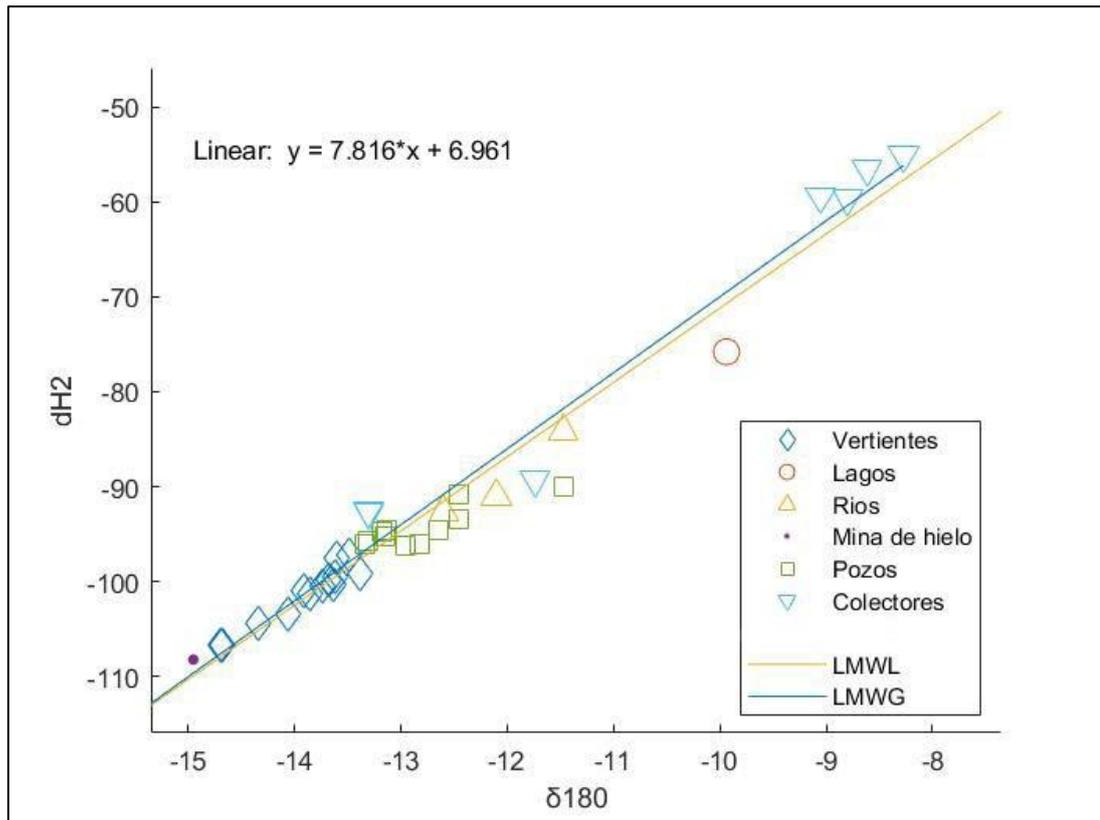


Figura 12-3. Recta meteórica local (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

La diferencia en la variación estacional en ambas épocas evidencia la diferencia de las cantidades de lluvia durante el año en el Ecuador. Contrario a los resultados de época seca se destaca el enriquecimiento por evaporación en los colectores (C6 Chimborazo la Y, C4 Sanjapamba , C5 Pulingui y C1 Santa Lucía) y el Lago (L8 Yanayaku Mochapata) que coinciden con las escasas precipitaciones, siendo interpretado como consecuencia de la evaporación de las gotas de lluvia debido a la presencia de 2 cm de aceite de vaselina en los colectores y la humedad ambiental, considerando como principal causa al fraccionamiento isotópico a la evaporación, puesto que se alinean a lo largo de la rectas meteórica y presentan las concentraciones más negativas de $\delta^{18}O$. Este efecto no solamente es evidente en los valores isotópicos de las precipitaciones sino también en aguas superficiales. Con respecto a los puntos que muestran un empobrecimiento isotópico por el efecto de la altitud son colector (C10 Hieleros), Mina de Hielo (H1) y las vertientes (S26 Mesarrumi , S39 Chorrera Chacana y S21 Cuartel de los Incas II) esto ocurre ya que la mayor parte de estas aguas son provenientes de zonas mayores a los 3000 m.s.n.m en forma de precipitación y deshielo. Los pozos que se ubican en el área cercana a los puntos de río presentan valores mayores en la composición del $\delta^{18}O$ y del δ^2H , como se aprecia en la ilustración 29-3.

Donde existe una posible mezcla del agua con agua evaporada producto de la infiltración de las aguas de lluvia.

3.2.2. Conductividad electrolítica vs oxígeno 18

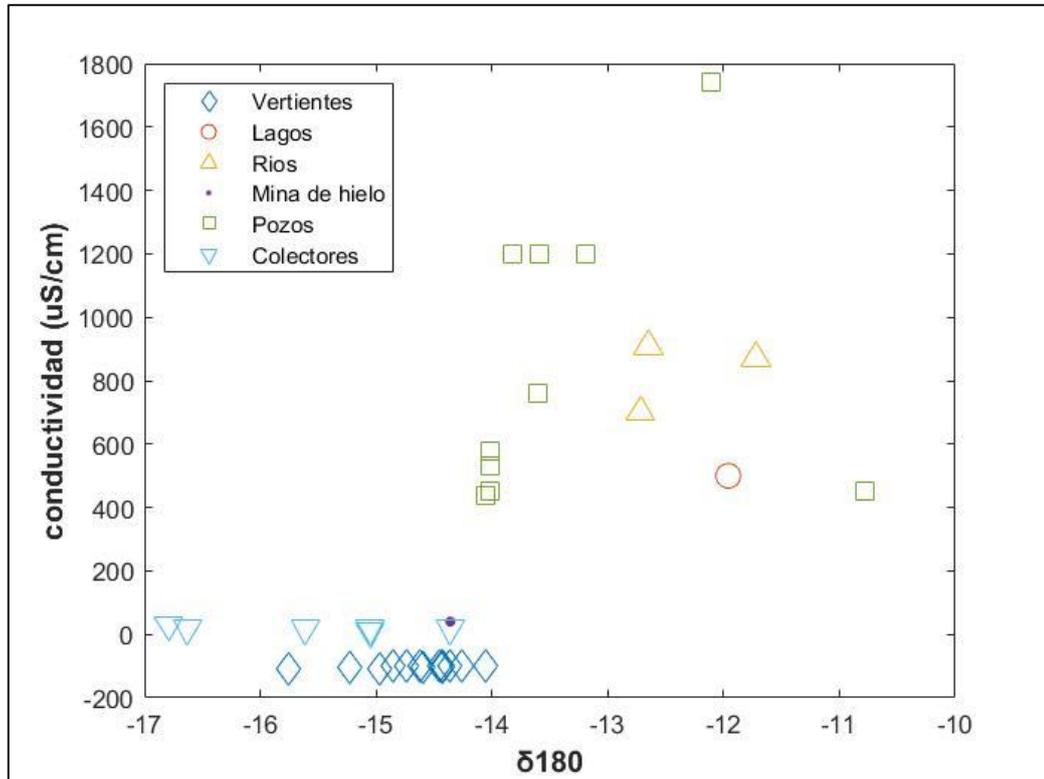


Figura 13-3. Relación oxígeno 18 vs conductividad electrolítica (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Mediante la interacción conductividad electrolítica y $\delta^{18}\text{O}$ se estima que a medida que disminuye la temperatura del aire por elevación, se produce un empobrecimiento de los isotopos más pesados, lo que puede ser útil para determinar la zona de recarga de las aguas subterráneas y superficiales (Valenzuela y Palomares, 2013: pp.57-66).

Estos pueden ser alimentados directamente por agua lluvia o indirectamente por un lago, un río o por una mezcla de dos o mas fuentes. Es por ello según los datos presentados en la Ilustración 30-3, se estima que los puntos de recarga son C9-Entrada al Chimborazo, C8-Chorrera Chacana, C10-Hieleros , C6- Chimborazo la Y, C5- Pulingui y H1 -Mina de Hielo, los cuales contribuyen como fuentes de recarga de las vertientes que se sitúan a partir de los 3137 m.s.n.m, por lo tanto el agua de recarga proviene de la precipitación y deshielo del Volcán Chimborazo que es transportada a diferentes sitios a lo largo de la microcuenca.

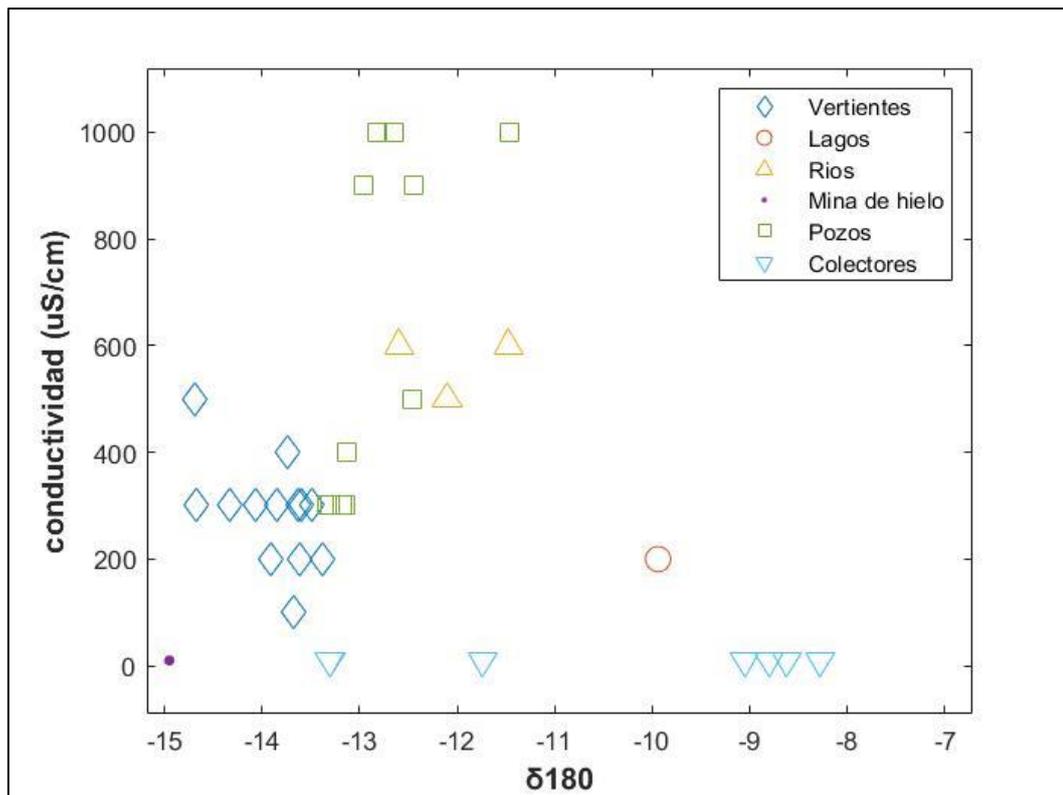


Figura 8-3. Relación oxígeno 18 vs conductividad electrolítica (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

Los datos isotópicos y de conductividad electrolítica indican los muestras con valores más empobrecidos reflejan que las zonas altas de la microcuenca y las precipitaciones son los principales puntos de recarga de las aguas subterráneas los cuales son C10- Hieleros , HI-Mina de Hielo, C9-Entrada al Chimborazo , C8- Chorrera Chacana , C1- Santa Lucía y C6- Chimborazo la Y, siendo la infiltración el proceso que permite la descarga del agua en ríos y lagos. Además, en la mayoría de las muestras se produce un decrecimiento en los valores de conductividad eléctrica y en la composición isotópica en comparación a la época seca, lo que puede ser debido a la mineralización. Lo cual concuerda con (Gibrilla, et al., 2010, p.1010-1019) quienes mencionan que las aguas subterráneas y las aguas superficiales muestran un enriquecimiento de los isótopos más pesados sin un aumento simultáneo de la CE, lo que lleva a confirmar que las aguas subterráneas se recargan con agua evaporada (enriquecida isotópicamente), o por el agua del río.

3.2.3. *Altura vs oxígeno 18*

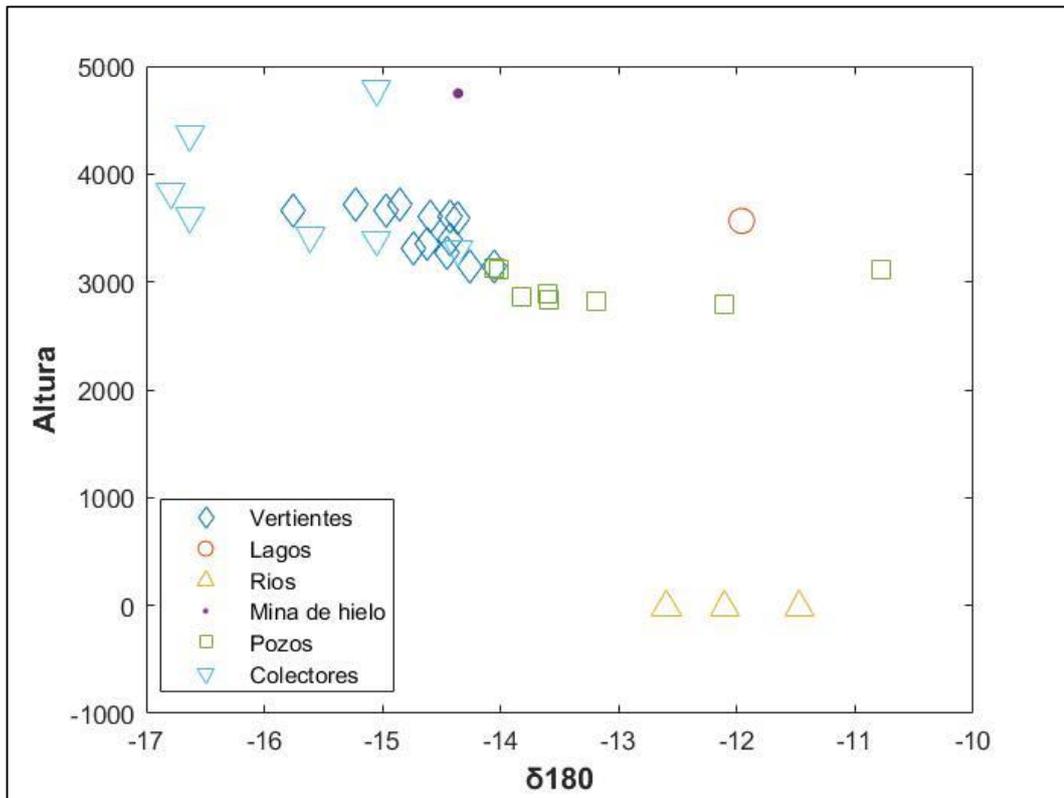


Figura 15-3. Relación isotópica, altura vs $\delta^{18}O$ (época seca)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

A medida que disminuye la temperatura del aire, ya sea por efectos estacionales, latitudinales o elevación, se produce un empobrecimiento de los isotopos más pesados, lo que puede ser útil para determinar la zona de recarga de los acuíferos. En las zonas de mayor altitud disminuye la concentración isotópica y mineral del agua subterránea indicando un menor tiempo de residencia del agua en las vertientes dificultando el intercambio iónico con los minerales de las rocas (Shamsuddin, et al., 2018, p.1-12).

Las aguas de vertiente se alimentan directamente por agua lluvia o indirectamente por un lago, un río o por una mezcla de dos o mas fuentes, inclusive el origen podría ser de la lluvia directa pero que se evapora antes de infiltrarse o provenir de la lluvia que cae en la parte alta de las montañas. En este caso si las aguas de vertientes provienen de lluvias caídas e infiltradas en zonas altas, las concentraciones van a ser mucho menor que las contenidas en las lluvias locales o en zonas mas bajas, puesto que la altitud afecta las concentraciones de $\delta^{18}O$ en las precipitaciones. Por otra parte, las aguas de pozos se muestran como grupos independientes con respecto al resto de puntos. Estos presentan un mayor contenido isotópico y mineral, lo cual indica que su recarga proviene principalmente de la precipitación y las aguas de deshielo del Volcán Chimborazo, que permiten evidenciar que los efectos producidos sobre el fraccionamiento isotópicos por la latitud,

la altura, el continente, las estaciones y la cantidad de lluvia que cae en la zona son importante para interpretar y conocer el origen de la recarga del agua subterránea.

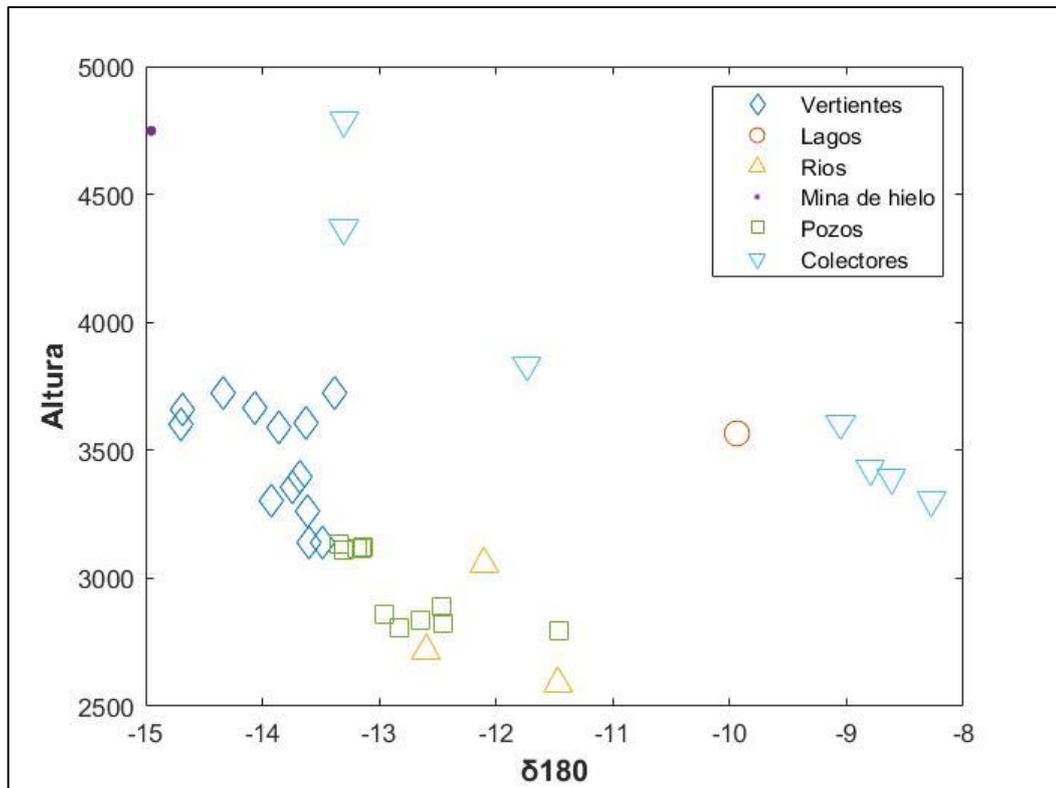


Figura 16-3. Relación isotópica, altura vs $\delta^{18}O$ (época lluviosa)

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

La gran variabilidad espacial y temporal de la composición isotópica en las aguas subterráneas, superficiales y de precipitación, ha llevado a obtener una recta altitudinal local para ello se han evidenciado aquellos puntos cuya cota topográfica representa razonablemente bien la altitud de recarga de la microcuenca del Río Chibunga. Esta selección se ha realizado teniendo en cuenta las características topográficas e hidrogeológicas de la zona, eligiendo los puntos de Mina de hielo y Colectores (entrada al Chimborazo y Hieleros) como los puntos que mejor representan la cota de recarga, ya que se encuentra a altitudes mayores a los 4300 msnm. Al observar el enriquecimiento de los colectores (Santa Lucia de Chuquipogyo, Sanjapamba, Fullingue, y Chimborazo la Y), se interpreta que está asociado posiblemente con la evaporación, obteniéndose una composición isotópica más pesada, y por lo tanto una cota de recarga inferior a la esperada y presentada en época seca.

CONCLUSIONES

- Mediante el diseño de mapas de ubicación e isoconcentración se obtuvieron seis zonas que dividen el área de estudio: tierra agropecuaria (37%), vegetación arbustiva y herbácea (25%), zona antrópica (5%), bosque (1%), cuerpo de agua (4%) y otras tierras (28%). El principal uso de suelo es la tierra agropecuaria que se localiza principalmente en la zona baja media de la microcuenca iniciando a una altitud en de 2588 msnm y avanzando hasta los 3800 msnm.
- De las 29 muestras de agua subterránea y superficial la variación temporal y espacial de TDS, conductividad eléctrica y pH presentó valores bajos en sus concentraciones en las zonas de mayor altura y a medida que la altitud desciende y la temperatura aumenta también se aumentan sus valores de concentración ya que sus aguas adquieren niveles de mineralización.
- El valor de pH del agua en el mes de agosto 2021 indica una media ligeramente ácida de 6.85, mientras que en el mes de febrero 2022 los sectores localizados muestran una media de 7.06, indicando que las aguas varían de neutras a ligeramente alcalinas. Según la clasificación de la CE, las muestras de agua cercanas al Volcán Chimborazo presentan bajos valores de conductividad eléctrica entre 41-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3.98-171 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tanto para época seca como para lluviosa, estas aguas son más puras debido a su baja mineralización; los valores más altos se encuentran en la zona urbana entre 1500-1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época seca y 838-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para época lluviosa, estos se encuentran en los pozos de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP EMAPAR), los cuales se ven directamente afectados debido a la presencia de cloruros, fosfatos y nitratos. De igual manera los TDS en el agua mostraron valores que varían de 9,64 a 678,290 mg/L en época seca y de 9,57 a 429,78 mg/L en época lluviosa, donde las concentraciones varían debido a los diferentes usos de suelo donde las solubilidades de los minerales son distintas.
- Se comparo los parámetros hidroquímicos con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA y en la normativa INEN 1108, donde se constató que los nitratos tanto para época seca como lluviosa sobrepasan los límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico, esto hace referencia a una contaminación de origen antrópico que podría deberse al incremento de la frontera agrícola y los procesos de interacción roca-agua.
- Mediante diagramas de Piper se identificó tres tipos diferentes de agua (bi/carbonata de calcio/magnesio, clorurada/sulfatada de calcio/magnesio y clorurada sódica/ potásica sulfatada/sódica) tanto para época seca como para época lluviosa. De la misma manera, la composición hidroquímica para época seca muestra predominancia en los iones de bi/carbonatos cálcicos/magnésicos, estas se derivan principalmente de rocas de carbonato de calcio, la descomposición de la materia orgánica, la respiración de los animales acuáticos y el intercambio del ciclo del carbono, donde la solubilidad es muy baja y al contrario para época

lluviosa se presenta características de aguas cloruradas/sulfatadas de calcio/magnesio, esto puede surgir debido al almacenamiento cercano de sales o rocas saladas y la mezcla de agua dulce con aguas más salinas o evolucionadas. Esta variación se debe a los procesos naturales o antropogénicos causados por los bajos niveles de agua subterránea, donde sus concentraciones varían respecto a factores de la meteorización y la capacidad amortiguadora del agua dependiente de la época sea esta seca o lluviosa.

- El cloruro es la forma natural dominante del elemento cloro y es un componente de muchas sales en el medio ambiente. La concentración de cloro va de acorde a la altitud, ya que entre más altitud menor concentración y a menor altitud mayor concentración. Para febrero 2022 los pozos muestran una alta concentración con respecto a agosto 2021, esta variación en las concentraciones en distintas épocas se debe al bombeo excesivo de agua de pozo y a inclusiones fluidas e incorporaciones de agua debido a la evaporación, donde se ha demostrado que cantidades sustanciales de cloruro también pueden estar contenidas en la vegetación y en las raíces de las cuencas hidrográficas.
- Los análisis de las concentraciones isotópicas mostraron una variabilidad dependiente de la estacionalidad, debido a que los eventos de precipitación están sujetos a variaciones por proceso de evaporación esto sugiere que existe un agotamiento significativo en las aguas de precipitación en época seca, los puntos representativos de empobrecimiento isotópico corresponden a los colectores de lluvia (C8 Chorrera, C9 Entrada al Chimborazo, C6 Chimborazo la Y y C10 Hieleros) y a la vertiente S28 ubicada en la Chorrera Chacana, constatando el efecto de la altitud en la composición isotópica, sumando a ello las muestras obtenidas en los pozos (W9 Santa Lucía y W7 Llio Pozo 7), ríos (R5 Parque Ecológico y R6 Licto Chambo) y el lago (L8 Yanayaku Mochapata) que presentan un enriquecimiento en su concentración, siendo consecuencia del intercambio isotópico durante la precipitación. De esta manera, las zonas cercanas a la recarga presentan una menor abundancia de isótopos estables con respecto a las cercanas a la descarga, lo cual prueba que este proceso se podría relacionar con la infiltración y evaporación del agua. Mientras que para época lluviosa se observa un enriquecimiento en los valores isotópicos de precipitación (C6 Chimborazo la Y, C4 Sanjapamba, C5 Pulingui y C1 Santa Lucía), siendo interpretado como consecuencia de la evaporación de las gotas de lluvia y la humedad ambiental. El empobrecimiento isotópico por el efecto de la altitud son colector (C10 Hieleros), Mina de Hielo (H1) y las vertientes (S26 Mesarrumi, S39 Chorrera Chacana y S21 Cuartel de los Incas II) esto ocurre ya que la mayor parte de estas aguas son provenientes de zonas mayores a los 3000 msnm.
- Los puntos que mejor representan la zona de recarga son C9-Entrada al Chimborazo, C10-Hieleros y H1-Mina de Hielo, ya sea para época seca como lluviosa. Por lo tanto el agua de recarga proviene de la precipitación y deshielo del Volcán Chimborazo que es transportada

por evaporación e infiltración a diferentes sitios a lo largo de la microcuenca. Así mismo, se destaca el enriquecimiento debido a la residencia del agua en los pozos W12-24 de Mayo, W11-Servidores, W13-Santa Ana, W9-El Estadio, W7-Llio Pozo 7 y los puntos de río R5-Parque ecológico y R6-Licto-Chambo que evidencian posibles mezclas de agua, presentando un mayor contenido isotópico y mineral. Al observar el enriquecimiento isotópico de los colectores en febrero 2022 (Santa Lucía de Chuquipogyo, Sanjapamba, Pulingui, y Chimborazo la Y), se demuestra la influencia directa de la temperatura y con ello la evaporación mostrando valores mayores a la esperada y presentada en época seca.

- El uso de isótopos estables es una herramienta para determinar el origen de las fuentes de recarga que están relacionadas con la infiltración del agua, de modo que a medida que disminuye la temperatura del aire, ya sea por efectos estacionales, latitudinales o elevación, se produce un empobrecimiento de los isótopos más pesados, lo que puede ser útil para determinar la zona de recarga de los acuíferos. En las zonas de mayor altitud disminuye la concentración isotópica y mineral del agua, lo cual establece que la lluvia y los deshielos son los principales fuentes de recarga con un tiempo de residencia corto en el acuífero, con intrusión marina presente y con mezclas de aguas residuales de la actividad humana.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar muestreos mensuales del agua de precipitación para lograr así obtener un registro anual de las concentraciones isotópicas.
- Se recomienda que las muestras sean almacenadas en lugares frescos y oscuros ya que la incidencia de los rayos solares afecta las concentraciones isotópicas.
- Se sugiere realizar un inventario de puntos de vertientes para determinar los procesos de mezcla e intercambio de la microcuenca del Río Chibunga.
- Se recomienda utilizar un filtro PET de 0.20 micras por cada muestra para evitar la acumulación de partículas.
- Con el propósito de prevenir accidentes en el almacenamiento de muestras es necesario no llenar los viales hasta arriba ya que estos pueden romper.
- Se recomienda observar regularmente las concentraciones que sobrepasan los límites máximos permisibles para agua de consumo humano y uso doméstico.
- Desarrollar campañas de vinculación con la población con el objetivo de limitar el avance de la frontera agrícola, dándoles a conocer la importancia de la preservación de las zonas naturales.
- Se sugiere mayor control de las descargas y desechos vertidos en la microcuenca del Río Chibunga, con el fin de mejorar el ornato de la ciudad y la calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

AGUAMARKET. *Cloruro*. [En línea] 2021. [Consulta: 15 julio 2022]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2743>

AGUA Y SIG. *Tutorial de diagrammes (hidroquímica de aguas subterráneas)*. [En línea] 2011. [Consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <https://aguaysig.com/tutorial-de-diagrammes-hidroquimica-de-aguas-subterraneas/>.

AHAMAD, A; et al. “Assessment of groundwater quality with special emphasis on nitrate contamination in parts of Varanasi City, Uttar Pradesh, India”. *Applied Water Science*, Vol. 8. n°115 (2018), pp. 1-13.

ALQAHTANI, Faleh; et al. “Assessment of Major and Trace Elements in Drinking Groundwater in Bisha Area, Saudi Arabia”. *Journal of Chemistry*, n°7 (2020), pp. 1-10.

ANCAJIMA OJEDA, Ronald. Gestión de cuencas hidrográficas. *Tipología de cuencas hidrográficas*. [En línea] Abril de 2016. [Consulta: 17 junio 2022]. Disponible en: <http://cuencahidrograficamila.blogspot.com/2016/04/gestion-de-cuencas-hidrograficas.html>

ANSWERSJET. *MATLAB Programming Language: History, Features and Applications*. [En línea] 2021. [Consulta: 17 junio 2022]. Disponible en: <https://www.answersjet.com/2021/06/matlab-programming-language-history-features-applications-why-should-learn-matlab.html>.

ARAOY, P. A. “The seasonal variation of pH and dissolved oxygen (DO₂) concentration in Asa lake Ilorin, Nigeria”. *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 4, n°5 (April de 2009). ISSN 1992 - 1950 . pp. 271-274.

ARCGEEK. Gestión de cuencas hidrográficas. *Tipología de cuencas*. [En línea] marzo de 2015. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <http://caratula1994.blogspot.com/2015/03/tipologia-de-cuencas.html>

AYALA SIGCHA, Mirian Isaura. El Software Matlab en las simulaciones matemáticas de las tendencias y comportamientos de las variables financieras y económicas en los estudiantes, de la carrera de Ingeniería Comercial de la Universidad Técnica de Cotopaxi. (Trabajo de Titulación)

(Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica De Ciencias Administrativas Y Humanísticas, Latacunga. 2016. pp. 34-37.

BAI, Peng; & LIU, Xiaomang. “Evaluation of Five Satellite-Based Precipitation Products in Two Gauge-Scarce Basins on the Tibetan Plateau”. *Remote sensing* [En línea], 2018, 10(8), pp. 9-22. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs10081316>

BAJAJ, Kushank; et al. “Hydrological linkages between different water resources from two contrasting ecosystems of western peninsular India: a stable isotope perspective”. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, Vol. 55, n°9 (2019). ISSN: 1025-6016. pp. 532-549.

BEAR, Jacob; et al. *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts, Methods and Practices*. Heidelberg: Springer, 1999. ISBN 0-7923-5573-3. p. 625.

BLARASIN, Mónica; et al. “Application of isotope techniques to enhance the conceptual hydrogeological model and to assess groundwater sustainability in the Pampean plain in Córdoba, Argentina”. *Isotopes in Environmental and Health Studies* , Vol. 56, n°5-6 (2020). pp. 402-417.

BUYTAERT, W, et al. *Hidrología del Páramo Andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad*. Katholieke Universiteit Leuven. Cuenca : s.n., 2006.

CAENN, Ryen; et al. *Chapter 3 - Evaluating Drilling Fluid Performance*. 7ma Edición Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, 2017. ISBN: 9780128047514. pp. 55-91.

CAMPOVERDE CABRERA, Jhon Henry; & FAJARDO GONZALEZ, Iván Alfredo. Contribución de la geología aplicada para la mejora en el diseño de un dique en la subcuenca del río Manglaralto, Provincia De Santa Elena. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Facultad De Ingeniería En Ciencias De La Tierra. Guayaquil-Ecuador. 2018. pp. 98-108,

CARRIÓN-MERO, Paúl; et al. "Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to Contribute to the Management of the Coastal Aquifer". *Water* , Vol. 13, (2021) p. 537.

CHOTPANTARAT, Srilert; & THAMRONGSRISAKUL, Jirawan. "Natural and anthropogenic factors influencing hydrochemical characteristics and heavy metals in groundwater surrounding a gold mine, Thailand". *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 211.

CLARK, Ian. *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. 1st Edition. s.l. : Taylor & Francis, 2015. p. 438 . ISBN 9781466591738.

CRAIG, Harmon. "Isotopic Variations in Meteoric Waters". *Science*, Vol. 133, n°3465 (26 de Mayo de 1961) pp. 1702-1703.

CRESPO, Patricio; et al. "Identificación de las principales fuentes de agua que aportan a la generación de escorrentía en zonas de páramo húmedo: mediante el uso de Deuterium y Oxygen-18". *Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca : s.n., 2013. pp. 798-814.

DAVIS, Jenny; et al. "When trends intersect: The challenge of protecting freshwater ecosystems under multiple land use and hydrological intensification scenarios". *Science of The Total Environment*, Vol. 534, (2015). ISSN 0048-9697. pp. 65-78

DÍAZ, Carlos; et al. *Recursos Hídricos*. México D.F: Piriguazú, 2005. ISBN: 9974-7571-6-9.

EL TELÉGRAFO. El Chibunga, uno de los ríos más contaminados del país. *El Telégrafo*. [En línea] 7 de Mayo de 2013. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/el-chibunga-uno-de-los-rios-mas-contaminados-del-pais>

ENCA. *ESTRATEGIA NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA*. Ministerio del Ambiente. Quito : s.n., 2016. p. 30.

FALCÓN, Carlos; et al. "Evaluación de la Aguas Termales en el área de Santa Teresita, Provincia de La Rioja, Argentina ". *Serie Correlación Geológica* [En línea], 2015, (Tucumán) 31(1), pp. 21 - 40. [Consulta: 08 junio 2022]. ISSN 1514-4186. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/scg/v31n1/v31n1a02.pdf>

FOSTER, Stephen; et al. Explotación del recurso de agua subterránea en acuíferos menores estrategia de gestión para el abastecimiento de agua de aldeas y pequeños pueblo. *Programa*

asociado de la GWP, BANCO MUNDIAL. 2006. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <http://www.ecopuerto.com/bicentenario/informes/EXPLORACIONAGUASSUBTE.pdf>

FUENTES, Ignacio; et al. "Long-term surface water trends and relationship with open water evaporation losses in the Namoi catchment, Australia". *Journal of Hydrology*, Vol. 584 (2021). ISSN 0022-1694.

GAD CHIMBORAZO. *Proyecto: Manejo de Recursos Naturales "PROMAREN"* [En línea]. Chimborazo: GAD Chimborazo 2017. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/PROYECTO-GESTIÓN-AMBIENTAL-MANEJO-DE-RECURSOS-NATURALES-Chimborazo.pdf>

GARCÍA, Yoandris; et al. "Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas". *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 21, n°3 (2012). ISSN 2071-0054. pp. 29-34.

GERRIT MOOK, Willem. "Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico". *Instituto Geológico y Minero de España*, Vol. 39, (2002), (Madrid). pp. 203-214. ISBN: 84-7840-465-1.

GIBRILLA, Abass; et al. "Origin of Dissolve Ions in Groundwaters in the Northern Densu River Basin of Ghana Using Stable Isotopes of ^{18}O and ^2H ". *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 2, n° 12 (2010), pp. 1010-1019.

GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN RIOBAMBA. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Riobamba*. Riobamba: Gestión de Proyectos y Planificación, GADM Riobamba, 2015, pp. 53-63.

GONZÁLEZ-SEGURA, Franklyn. "Uso de matlab (rtw) para controles de motores de corriente directa". *Ciencias Holguín*, Vol. 21, n° 1 (2015), (Santiago de Cuba). ISSN: 1027-2127. pp. 1-10.

GÓMEZ GARZÓN, Alfredo. *Caracterización de una cuenca: principios y métodos*. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMI). México : s.n., 2020. pp.1- 40. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar04.pdf>

GUADARRAMA, Rosendo; et al. "Contaminación del agua". *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, Vol. 2, n°58 (2016), pp. 1-10.

ILUSTRE MUNICIPIO DE RIOBAMBA. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Riobamba 2015-2030.* Consejo Cantonal. Riobamba : s.n., 2015.

INEN 1108. *REQUISITOS, AGUA POTABLE.*

INGLEZAKIS, V. J; et al. *Aquatic Environment.* Chemical And Process Engineering. 2016. ISBN 9780444627339, pp. 137-212.

JACKSON, Robert; & JOBBÁGY, Esteban. "From icy roads to salty streams". *Proceedings of the national academy of sciences*, Vol. 102, n° 41, (2005), pp. 14487-14488.

JAMEI, Mehdi; et al. "Prediction of surface water total dissolved solids using hybridized wavelet-multigene genetic programming: New approach". *Journal of Hydrology*, Vol. 589, (2020).

JARRÍN, Andrea; et al. "Evaluación del riesgo a la contaminación de los acuíferos de la Reserva Biológica de Limoncocha, Amazonía Ecuatoriana". *Rev. Ambiente & Agua*, Vol. 12, n°4 (2017) ISSN 1980-993X. pp. 1-14.

KHATRI, Nitasha & TYAGI, Sanjiv. *Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas.* 1, 2015, *Frontiers in Life Science*, Vol. 8, pp. 23-39.

KRISHNA KUMAR, S; et al. "Hydrogeochemistry and groundwater quality appraisal of part of south Chennai coastal aquifers, Tamil Nadu, India using WQI and fuzzy logic method". *Applied Water Science*, n°4 (2014), pp. 341–350.

LAZO, Patricio Xavier; & MOSQUERA, Giovanni Mauricio. Fraccionamiento y concentración de deuterio ($\delta^2\text{H}$) y oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$) en diferentes fuentes de agua que aportan a la cuenca del río Zhuruca y [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca-Ecuador. 2012. [Consulta: 09 junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/758/1/ti884.pdf>

LEKSHMIPRASAD, Surya; & KANI, Mophin. "Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake Using Nsfwqi". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 7, n° 1 (2017). ISSN 2250-2459.

LIMA, Paulina. "Uso de Isotopos Estables para el Estudio de las Fuentes de Agua Superficiales en el Ecuador y sus Implicaciones para la Gestión de los Recursos Hídricos". *INGENIO*, Vol. 2, n° 2 (Noviembre de 2019), pp. 38–45.

LIU, Yuanzhang; et al. "A simplified method of developing a local meteoric water line equation for Beijing, China". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 315, n° 3 (2018), pp. 523–532.

MAMANI, Verónica. Estudio de desechos industriales usados como materiales de almacenamiento de energía termoquímica (Trabajo de Titulación) (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona, Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Antofagasta. 2019. pp. 50-54.

MCLAUGHLIN, Rachel. Hydrochemical Signatures of Glacial Meltwater on Volcán Chimborazo, Ecuador. (Trabajo de Titulación) (Maestría). University of Minnesota. Minnesota. 2017. pp. 53-62.

MENA VÁSCONEZ, P.; et al. Manejo integral de la microcuenca hidrográfica del río Ángel [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Facultad de ingeniería. Quito-Ecuador. 2011. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3590/T-PUCE-3600.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOOK, Willem. *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle* [En línea]. International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2001. pp. 181-196. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/global_cycle/environmental%20isotopes%20in%20the%20hydrological%20cycle%20vol%201.pdf

MORENO, Diana; & DUQUE, Juan. Estudio de aprovechamiento de aguas subterráneas bombeadas por los predios del polígono compuesto por las calles: "Av. 6 de Diciembre, Av. Naciones Unidas, Av. Shyris y, Av. Eloy Alfaro". (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería. Quito-Ecuador, 2015. pp. 16-21.

NACIONES UNIDAS. *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe.* CEPAL. Santiago : s.n., 2018. ISBN: 978-92-1-058643-6.

NÚÑEZ CAIZA, Gabriela Raquel. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de la cuenca baja del río Chambo provincia de Chimborazo. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito-Ecuador, 2020. pp. 1-161.

ORDÓÑEZ, Juan Julio. *¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* [En línea] 2011. [Consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf.

OUDE ESSINK, Gualbert. "Improving fresh groundwater supply—problems and solutions". *Ocean & Coastal Management*, Vol. 44, n° 5–6 (2001) pp. 429-449.

PALACIOS, John. Calibración de modelo del sistema de distribución de agua potable del sector urbano de la ciudad de Huánuco-2018 [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Huánuco-Perú, 2019. pp. 51-54.

PERALTA, José; et al. "Hidrología isotópica, herramienta nuclear para la gestión sostenible del recurso hídrico". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 36, n°1 (2015). ISSN 1680-0338. pp. 52-72.

PEREZ, Dulce. *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad.* Química General, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 2020. pp. 1-4.

RAMÓN REINOZO, Mayra Elizabeth. Estimación de la fracción de agua de evento y pre evento que aportan al caudal, mediante el uso de isótopos estables, en la cuenca del Río Zhurucay [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca-Ecuador, 2015. pp. 32-50. [Consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22781/1/tesis.pdf>

RÍOS, Anita; et al. "Diagnóstico y propuesta para la conservación de la Microcuenca del Río Chibunga". *PRAXIS*, Vol. 1, n°36 (2011), pp. 36-46.

SÁNCHEZ-MURILLO, Ricardo; et al. "Isotope hydrology and baseflow geochemistry in natural and human-altered watersheds in the Inland Pacific Northwest, USA". *Isotopes in Environmental and Health Studies*, Vol. 51, n°2 (2015) ,pp. 231-254.

SECRETARÍA GENERAL IBEROAMERICANA. *Programa de Formación Iberoamericano en materia de Aguas.* Secretaría Técnica Permanente, Conferencia de Directores Generales Iberoamericanos del Agua. México D.F : s.n., 2010.

SENAGUA. *Elaboración del Mapa Hidrogeológico a escala 1:250.000.* Guayaquil : s.n., 2014.

SERRANO AVALOS, Paola Cristina. Diversidad y riqueza de especies de Diatomeas Epilíticas de la microcuenca del Río Chibunga, Chimborazo [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito. 2018. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2885/1/DIVERSIDAD%20Y%20RIQUEZA%20DE%20ESPECIES%20DE%20DIATOMEAS%20EPILÍTICAS%20DE%20LA%20MICROCUCENCA%20DEL%20RÍO%20CHIBUNGA%2C%20CHIMBORAZO..pdf>

SHAMSUDDIN, Mohd Khairul Nizar; et al. "Assessments of seasonal groundwater recharge and discharge using environmental stable isotopes at Lower Muda River Basin, Malaysia". *Applied Water Science*, Vol. 8, n°120 (July de 2018), pp. 1-12.

SLIM, D; et al. "Sustainability strategies for coastal aquifers: A case study of the Hermosillo Coast aquifer". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 195, (September de 2018), pp. 1170-1182.

SOLÍS-CASTRO, Yuliana; et al. "La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica". *Tecnología en Marcha* [En línea], Vol. 31, n°1 (2018). [Consulta: 25 abril 2022]. ISSN 0379-3982. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822018000100035

TAN, Xianhui; et al. "Error features of the hourly GSMaP multi-satellite precipitation estimates over nine major basins of China". *Hydrology Research*, Vol. 49, n°3 (2018), pp. 761–779.

TIAN, L; et al. "The evolution of hydrochemical and isotopic signatures from precipitation, surface water to groundwater in a typical karst watershed, Central Texas, USA". *Isotopes in Environmental and Health Studies* , Vol. 57, n°5 (2021), pp. 492-515.

TORTAJADA QUIROZ, Hilda Cecilia. *El Agua y el Medio Ambiente en las Conferencias Mundiales de las Naciones Unidas: Resultados a Largo Plazo.* Zaragoza: Centro de Documentación del Agua y el Medio Ambiente, 2015, pp. 1-94.

TULSMA. *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA.* ANEXO 1, LIBRO VI.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME/UN-WATER. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water.* 2018. ISBN: 978-92-3-100264-9.

UCGS. UCGS Science for a changing world. *Infiltration and the Water Cycle.* [En línea] junio de 2019. [Consulta: 25 abril 2022] Disponible en: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/infiltration-and-water-cycle>.

VALENZUELA, Lorenzo; et al. "Composición Isotópica del Agua Subterránea y su Relación con la Salinidad en el Valle de San Luis Río Colorado en Sonora, México". *Información tecnológica*, Vol. 24, n°2, (2013) (Sonora), pp. 57-66. ISSN 0718-0764.

VANNOTE, Robin; & SWEENEY, Bernard. "Geographic Analysis of Thermal Equilibria: A Conceptual Model for Evaluating the Effect of Natural and Modified Thermal Regimes on Aquatic Insect Communities". *The American Naturalist*, Vol. 115, n° 5, 1980.

VÁSQUEZ, Absalón; et al. *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas.* Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. p. 19. ISBN: 978-612-4147-55-5.

VELOZ, Nancy; & CARBONEL, Carlos. "Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013- 2017". *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, Vol. 21, n° 42, (2018). pp. 13 - 26. ISSN-L:1561-0888.

VERA, Carolina; & CAMILLONI, Inés. *El Ciclo del Agua*. Programa de capacitación multimedial, Ministro de Educación, Ciencia y Tecnología. Salto del Guairá : s.n., 2010. pp. 1-2.

WONGSASULUK, Pokkate; et al. "Using hair and fingernails in binary logistic regression for bio-monitoring of heavy metals/metalloid in groundwater in intensively agricultural areas, Thailand". *Environmental Research*, Vol. 162, (2018), pp. 106-118.

ZHANG, G; et al. "Remote-sensing precipitation and temperature evaluation using soil and water assessment tool with multiobjective calibration in the Shiyang River Basin, Northwest China". *Journal of Hydrology*, Vol. 590, (2020). ISSN 0022-1694

ZHU, Meijia; et al. "Interaction of Surface Water and Groundwater Influenced by Groundwater Over-Extraction, Waste Water Discharge and Water Transfer in Xiong'an New Area, China". *Rev Water*, Vol. 11, n° 3 (2019). p. 539.



ANEXOS

ANEXO A. PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (ANIONES) DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN EL AÑO 2021 (ÉPOCA SECA)

Identificación	Lugar	F- mg/l	Cl- mg/l	Br- mg/l	PO43-- mg/l	HCO3- mg/l	SO4=mg/l	NO2- mg/l	NO3- mg/l
S12	AUCACAN	<0,010	5,45807	0	0	223,0526	13,57308	0	13,579
S13	LA SILVERIA	<0,010	6,955	0	0	185,4704	12,099	0	19,9
S14	LA UNION 2	<0,010	11,342	0	0	212,3148	13,875	0	19,5
S16	LA MOYA	<0,010	12,198	0	0	248,9208	78,00747	0	16,892
S17	CURIPOGYO	<0,010	5,2537	0	0	211,5827	25,70538	0	15,803
S18	TAMBOHUASHA	<0,010	7,8752	0	0	201,333	41,32308	0	4,796
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	<0,010	3,21	0	0	215,9754	14,319	0	0,5
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	<0,010	16,157	0	0	212,3148	186,48	0	0,5
S24	SAN PABLO 1	<0,010	6,42	0	0	196,4522	35,08266	0,209	9,656
S25	SAN PABLO 2	<0,010	6,76668	0	0	178,1492	40,17756	0	10,447
S26	MESARUMI 1	<0,010	1,74089	0	0	272,5927	15,60327	0	0
S28	LA CHORRERA 1	<0,010	5,72878	0	0	172,0482	33,8217	0	1,84
S39	LA CHORRERA 12	<0,010	8,37489	0	0	200,1128	49,72023	0	4,901
L8	YANAYACU- MOCHAPATA 7	<0,010	22,9001	0	7,66002	139,1028	3,07248	0	50,389
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	<0,010	12,5201	0	0	271,6165	37,32375	0	7,739
R5	PARQUE ECOLOGICO	<0,010	40,1507	0	0	320,9126	76,36023	9,264	20,362
R6	LICTO-CHAMBO	<0,010	21,568	0	0	284,5506	102,059	0	30,879
W4	LLIO POZO 1	<0,010	5,4677	0	0	206,7019	24,15693	0	13,195
W5	LLIO POZO 2	<0,010	6,955	0	0	213,535	30,747	0,16	14,9
W6	LLIO POZO 6	<0,010	6,79878	0	0	309,6868	15,87744	0	15,478
W7	LLIO POZO 7	<0,010	5,60894	0	0	229,3976	21,2232	0	17,878
W8	LLIO POZO 4	<0,010	6,78701	0	0	262,587	22,9326	0	19,909
W9	Santa Lucia	<0,010	105,93	0,242	0	1,54	438,45	0	0
W10	La Huerta	<0,010	31,9224	0	0	391,1961	153,8904	0	56
W11	Servidores	<0,010	26,6248	0	0	333,1146	193,352	0	25,108
W12	24 de Mayo	<0,010	19,5189	0	0	363,6196	238,65	0	19,889
W13	Santa Ana	<0,010	5,44309	0	0	166,9234	204,24	0	6,814
W14	21 de abril								
H1	MINAS DE HIELO	0	1,11494	0	0	6,101	0,43956	0	0,215

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

**ANEXO B. PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (CATIONES) DE LAS MUESTRAS
COLECTADAS EN EL AÑO 2021 (ÉPOCA SECA)**

Identificación	Lugar	Li+ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	NH4+ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l
S12	AUCACAN	0,0404	27,19	4,34042	<0,010	30,1444	23,1714
S13	LA SILVERIA	0,0387	19,908	3,956	<0,010	26,048	20,61
S14	LA UNION 2	0,1067	24,444	4,902	<0,010	28,336	23,85
S16	LA MOYA	0,1168	31,4605	7,31946	<0,010	43,8222	34,0542
S17	CURIPOGYO	0,0334	22,0231	7,23604	<0,010	32,2784	24,0489
S18	TAMBOHUASHA	0,0399	27,35124	5,66998	<0,010	29,0215	24,084
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	0,0367	19,9937	5,16	<0,010	23,672	24,57
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	0,025	25,788	3,612	<0,010	37,84	23,13
S24	SAN PABLO 1	0,0393	21,2066	3,85194	<0,010	32,0355	24,372
S25	SAN PABLO 2	0,0387	20,3398	3,66274	<0,010	30,3635	22,9968
S26	MESARUMI 1	0,0451	24,4188	2,64106	<0,010	39,0606	25,9839
S28	LA CHORRERA 1	0,0823	18,4094	4,25184	<0,010	30,4691	19,3545
S39	LA CHORRERA 12	0,0869	24,9589	5,3449	<0,010	29,7299	24,7518
L8	YANAYACU- MOCHAPATA 7	0,0264	10,7134	54,6676	<0,010	21,413	13,4946
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	0,0288	42,8534	8,59398	<0,010	31,4406	30,0915
R5	PARQUE ECOLOGICO	0,0328	68,3558	12,255	<0,010	60,8925	34,0209
R6	LICTO-CHAMBO	0,1058	82,4401	10,2168	<0,010	41,03	28,9854
W4	LLIO POZO 1	0,0377	20,8589	4,5064	<0,010	29,9156	25,3089
W5	LLIO POZO 2	0,0377	21,588	4,558	<0,010	29,128	25,83
W6	LLIO POZO 6	0,0941	26,8901	4,47372	<0,010	31,6096	42,6942
W7	LLIO POZO 7	0,0876	23,1554	4,2054	<0,010	30,0793	27,7929
W8	LLIO POZO 4	0,0386	27,6142	4,78246	<0,010	34,7398	32,3712
W9	Santa Lucia	0,2569	219,24	20,296	<0,010	40,216	57,6
W10	La Huerta	0,1106	77,7395	4,16928	<0,010	36,8157	80,451
W11	Servidores	0,1567	74,2938	3,89752	<0,010	56,7477	62,8506
W12	24 de Mayo	0,0999	65,7796	4,38342	<0,010	74,1822	73,6821
W13	Santa Ana	0,0323	32,1997	2,68062	<0,010	71,3354	30,1122
W14	21 de abril						
H1	MINAS DE HIELO	0,0453	0,98784	0,14878	0	0,9196	0,1557

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

**ANEXO C. PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (ANIONES) DE LAS MUESTRAS
COLECTADAS EN EL AÑO 2022 (ÉPOCA LLUVIOSA)**

Identificación	Lugar	F- mg/l	Cl- mg/l	Br- mg/l	PO43-- mg/l	HCO3- mg/l	SO4=mg/l	NO2- mg/l	NO3- mg/l
S12	AUCACAN	<0,002	17,73	<0,001	6,7098	164,73	244,953	<0,006	5,0
S13	LA SILVERIA	<0,002	28,368	<0,001	5,91855	140,32	259,362	<0,006	5,0
S14	LA UNION 2	<0,002	10,638	<0,001	6,5199	115,92	297,786	<0,006	10,7
S16	LA MOYA	<0,002	31,914	<0,001	0,0633	122,02	206,529	<0,006	9,7
S17	CURIPOGYO	<0,002	17,73	<0,001	5,2539	91,52	230,544	<0,006	3,8
S18	TAMBOHUASHA	<0,002	28,368	<0,001	0,53805	161,68	187,317	<0,006	0,1
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	<0,002	39,006	<0,001	2,88015	59,79	230,544	<0,006	0,1
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	<0,002	17,73	<0,001	1,55085	85,41	196,923	0,38	0,0
S24	SAN PABLO 1	<0,002	17,73	<0,001	4,90575	122,02	264,165	<0,006	8,1
S25	SAN PABLO 2	<0,002	24,822	<0,001	1,48755	73,21	182,514	0,234	3,6
S26	MESARUMI 1	<0,002	7,092	<0,001	0,9495	189,13	230,544	<0,006	0,0
S28	LA CHORRERA 1	<0,002	35,46	<0,001	2,2155	91,52	273,771	<0,006	2,1
S39	LA CHORRERA 12	<0,002	31,914	<0,001	6,5832	128,12	326,604	0,341	4,1
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	<0,002	53,19	<0,001	19,5597	97,62	211,332	2,529	0,7
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	<0,002	28,368	<0,001	1,4559	128,12	120,075	<0,010	4,3
R5	PARQUE ECOLOGICO	<0,002	74,466	<0,001	12,5334	103,72	201,726	0,2	11,8
R6	LICTO-CHAMBO	<0,002	60,282	<0,001	7,6593	213,54	168,105	0,3	6,6
W4	LLIO POZO 1	<0,002	24,822	<0,001	5,72865	87,24	249,756	0,2	0,0
W5	LLIO POZO 2	<0,002	21,276	<0,001	5,41215	97,62	192,12	<0,010	7,0
W6	LLIO POZO 6	<0,002	24,822	<0,001	6,61485	112,87	172,908	0,276	10,9
W7	LLIO POZO 7	<0,002	24,822	<0,001	5,8236	30,51	187,317	0,199	13,8
W8	LLIO POZO 4	<0,002	21,276	<0,001	2,4687	134,22	172,908	0,245	9,1
W9	Santa Lucia	<0,002	53,19	0,273	1,10775	82,36	196,923	<0,010	0,1
W10	La Huerta	<0,002	88,65	<0,001	3,51315	237,94	172,908	<0,010	4,6
W11	Servidores	<0,002	63,828	<0,001	8,6721	170,83	244,953	<0,010	18,1
W12	24 de Mayo	<0,002	56,736	<0,001	2,37375	122,02	168,105	0,2	5,4
W13	Santa Ana	<0,002	24,822	<0,001	8,9886	137,27	211,332	<0,010	6,2
W14	21 de abril	<0,002	63,828	0,584	1,5825	70,77	187,317	<0,010	20,3
H1	MINAS DE HIELO	0,0	3,546	0,0	0,000	19,52	158,499	0,0	1,1

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

**ANEXO D. PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS (CATIONES) DE LAS MUESTRAS
COLECTADAS EN EL AÑO 2022 (ÉPOCA LLUVIOSA)**

Identificación	Lugar	Li+ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	NH4+ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l
S12	AUCACAN	<0,003	11,2	2,5	0,013	21,042	34,048
S13	LA SILVERIA	<0,003	11,7	2,6	0,011	24,048	33,44
S14	LA UNION 2	<0,003	17,9	3,9	0,013	10,02	46,208
S16	LA MOYA	<0,003	26,0	4,9	0,020	34,068	41,344
S17	CURIPOGYO	<0,003	7,0	2,4	0,012	23,046	35,264
S18	TAMBOHUASHA	<0,003	11,4	2,6	0,021	22,044	34,656
S20	CUARTEL DE LOS INCAS	<0,003	18,8	3,2	0,012	34,068	47,424
S21	CUARTEL DE LOS INCAS II	<0,003	13,0	3,3	0,017	17,034	34,048
S24	SAN PABLO 1	<0,003	16,1	8,2	0,015	24,048	36,48
S25	SAN PABLO 2	<0,003	9,0	1,8	0,039	22,044	32,224
S26	MESARUMI 1	<0,003	8,9	1,1	0,027	25,05	38,304
S28	LA CHORRERA 1	<0,003	16,0	3,8	0,020	18,036	23,104
S39	LA CHORRERA 12	<0,003	21,4	4,7	0,018	18,036	26,752
L8	YANAYACU-MOCHAPATA 7	<0,003	13,3	55,7	1,560	12,024	26,752
R4	CEMENTO CHIMBORAZO	<0,003	14,4	3,8	0,068	26,052	42,56
R5	PARQUE ECOLOGICO	<0,003	12,2	3,1	1,720	20,04	35,264
R6	LICTO-CHAMBO	<0,003	33,8	6,4	0,345	26,052	41,344
W4	LLIO POZO 1	<0,003	8,4	2,2	0,012	37,074	49,248
W5	LLIO POZO 2	<0,003	12,2	3,2	0,020	26,052	38,912
W6	LLIO POZO 6	<0,003	21,8	3,8	0,011	30,06	48,032
W7	LLIO POZO 7	<0,003	19,4	3,8	0,011	32,064	41,344
W8	LLIO POZO 4	<0,003	14,7	2,7	0,090	22,044	48,64
W9	Santa Lucia	<0,003	172,0	16,3	0,017	30,06	34,048
W10	La Huerta	1,3	39,5	3,3	0,012	30,06	52,288
W11	Servidores	<0,003	64,3	3,6	0,011	38,076	65,664
W12	24 de Mayo	<0,003	19,1	1,3	0,017	48,096	81,472
W13	Santa Ana	<0,003	15,5	1,6	0,013	46,092	57,76
W14	21 de abril	<0,003	68,1	3,9	0,034	37,074	92,416
H1	MINAS DE HIELO	0,0	0,763	0,123	0,005	19,038	7,904

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

ANEXO E. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN VARIACIONES ESTACIONALES



Figura 1: Recolección de muestra en colector de lluvia



Figura 2: Recolección de muestra de agua en vertiente natural



Figura 3: Recolección de muestra de agua en vertiente natural



Figura 4: Recolección de muestra de agua en colector de lluvia Volcán Chimborazo.



Figura 5: Recolección de muestra de agua en Río



Figura 6: Recolección de muestra de Mína de hielo Volcán Chimborazo

ANEXO F. POZOS EMAPAR MUESTREADOS EN VARIACIONES ESTACIONALES



Figura 7: Recolección muestra de agua Pozo La Huerta



Figura 8: Recolección de muestra de agua Pozo 24 de mayo



Figura 9: Recolección de muestra de agua Pozo 7



Figura 10: Recolección de muestra de agua Pozo 2



Figura 11: Recolección de muestra de agua Pozo 6	Figura 12: Recolección de muestra de agua Pozo San Pablo
--	--

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

ANEXO G. MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU

	
Figura 13: Recolección de datos en punto de laguna.	Figura 14: Recolección de datos en vertiente.
	
Figura 15: Recolección de datos Pozo 24 de mayo	Figura 16: Recolección de datos en vertiente.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

ANEXO H. TOMA DE MUESTRAS ANÁLISIS ISOTÓPICOS



Figura 17: Recolección muestra isotópica
Cuartel de los Incas 1



Figura 18: Recolección de muestra isotópica
Cemento Chimborazo



Figura 19: Recolección de muestra laguna
Yanayacu – Mochapata



Figura 20: Recolección de muestra colector
de lluvia

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

ANEXO I. ANÁLISIS DE LABORATORIO

	
<p>Figura 21: Preparación de muestras para los diferentes análisis.</p>	<p>Figura 22: Análisis de cloruros en cada una de las muestras.</p>
	
<p>Figura 23: Preparación y etiquetado de muestras análisis volumétrico.</p>	<p>Figura 24: Preparación de muestras análisis colorimétrico</p>



Figura 25: Preparación y etiquetado de muestras análisis colorimétrico.



Figura 26: Preparación de muestras análisis volumétrico.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.

ANEXO J. MANTENIMIENTO DE COLECTORES DE LLUVIA



Figura 27: Mantenimiento colector Chimborazo la Y.



Figura 28: Mantenimiento colector Pulingui.



Figura 29: Mantenimiento colector Sanjapamba.



Figura 30: Mantenimiento colector Volcán Chimborazo.

Realizado por: Gómez, Samantha; Lombeida, Bryan, 2022.



esPOCH

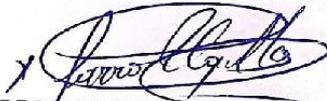
Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09 / 12 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Bryan Jhosue Lombeida Amijos Samantha Vanessa Gómez Morales
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
LA INVESTIGACION
 Ing. Jhonatan Parreño Quillas MSc.
DBRA UTP ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2115-DBRA-UTP-2022