

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Caracterización hidroquímica y su variación temporal y espacial del
bofedal Piticocha sector 2, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos
Cochas

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

María Magdalena Gómez Damián

ASESORES

Francisco Alejandro Alcántara Boza

Eduardo Oyague Passuni

Huaura, Perú

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 018 - 2021/UCSS/FIA/DI

Siendo las 05:50 p. m. del día 15 de mayo de 2021 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Julián Alberto Álvarez Paredes | presidente |
| 2. Janet del Milagro Zúñiga Trelles | primer Miembro |
| 3. Jorge Luis López Buñes | segundo Miembro |
| 4. Francisco Alejandro Alcántara Boza | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Caracterización hidroquímica y su variación temporal y espacial del bofedal Piticocha sector 2, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabambas** que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Maria Magdalena Gómez Damián** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

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

APROBAR

DESAPROBAR

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

Lima, 15 de mayo de 2021.

Julián Alberto Álvarez Paredes
PRESIDENTE

Janet Del Milagro Zúñiga Trelles
1° MIEMBRO

Jorge Luis López Buñes
2° MIEMBRO

Francisco Alejandro Alcántara Boza
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres por brindarme su amor, apoyo, comprensión y educación durante esta larga y hermosa carrera.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae por su acogida y las oportunidades brindadas.

A mi maestra Lic. Norma L. Quinteros Camacho, y asesor de tesis Dr. Francisco A. Alcántara Boza, por su apoyo, paciencia y colaboración para realizar este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por darme vida, salud y fuerzas para poder realizar uno de mis más grandes sueños de ser ingeniero.

A la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas por permitir el desarrollo de la investigación, en el marco del proyecto de investigación “**Evaluación de la hidrología y la dinámica de carbono en turberas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas**” aprobado por Resolución Jefatural N°002-2018-SERNANP-JEF.

A mis asesor Dr. Alejandro Alcántara Bosa y Blgo. Eduardo Oyague, por compartir sus conocimientos científicos.

A mis compañeros del grupo de investigación, Elizabeth Hinostroza, Karol Puerta y Alfredo Choy, por su apoyo incondicional en la etapa de campo.

A los Guardaparques de la Reserva: Jaime Dionisio, Heber Guerra, Miguel Lázaro y David Hilario por el apoyo en la etapa de campo y su gran amistad.

A mis maestros, familiares y amigos quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	viii
Índice de apéndices	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción.....	1
Objetivos	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.1.1. Ámbito internacional.....	4
1.1.2. Ámbito nacional.....	6
1.2. Bases teóricas especializadas	8
1.2.1. Humedales altoandinos o bofedal	8
1.2.2. Clasificación de bofedales	9
a. Por su origen.....	9
b. Por su tamaño.....	10
c. Por su receptividad	10
d. Por su altitud	10
e. Por su grado de pH edáfico	11
1.2.3. Importancia de los bofedales	11
1.2.4. Impactos ambientales de los bofedales	11
1.2.5. Bofedales en la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas	12
1.2.6. Caracterización hidroquímica del agua en bofedales y su composición	12
1.2.7. Características físico-químicos o <i>in situ</i> del agua.....	15
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Diseño de la investigación	17
2.2. Lugar y fecha	17
2.3. Materiales	22
2.4. Población y muestra	22
2.4.1. Población	22

2.4.2. Muestra.....	22
2.5. Descripción de la investigación.....	23
2.5.1. Fase preliminar.....	23
2.5.2. Fase de campo.....	23
2.5.3. Fase de laboratorio	32
2.6. Identificación de variables y su mensuración	33
2.7. Análisis estadístico de datos.....	34
2.8. Hipótesis.....	35
CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
3.1. Variabilidad temporal y espacial de los parámetros <i>in situ</i> del agua.....	37
3.2. Variabilidad temporal y espacial de los componentes químicos mayoritarios	49
3.3. Tipo de agua en el bofedal Piticocha sector 2.....	61
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	70
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	74
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	77
TERMINOLOGÍA.....	83
APÉNDICES.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de conductividad eléctrica según el tipo de agua.....	16
Tabla 2. Coordenadas de los pozos de monitoreo hidroquímico	27
Tabla 3. Profundidad de los pozos de monitoreo.	28
Tabla 4. Reinstalación de pozos de monitoreo hidroquímico perdidos durante la temporada seca, octubre 2017.	30
Tabla 5. Reinstalación de pozos de monitoreo hidroquímico perdidos durante la temporada de transición, diciembre 2017.....	30
Tabla 6. Métodos para análisis de componentes químicos mayoritarios	33
Tabla 7. Variables de investigación.....	33
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de los parámetros in situ durante los meses de julio, octubre y diciembre del 2017.....	39
Tabla 9 . Estadísticos descriptivos de los parámetros in situ durante los meses de enero y marzo del 2018.....	39
Tabla 10. Resultados de los parámetros in situ por cada estación de monitoreo.....	42
Tabla 11. Prueba de normalidad de los parámetros in situ.....	45
Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de pH	46
Tabla 13 Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso de pH	46
Tabla 14 Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de CE.....	47
Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso de CE.....	48
Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de temperatura.....	48
Tabla 17. Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso de temperatura.....	49
Tabla 18. Estadísticos descriptivos de los componentes químicos mayoritarios en los meses de julio, octubre y diciembre del 2017	50
Tabla 19. Estadísticos descriptivos de los componentes químicos mayoritarios en los meses de enero y marzo del 2018	50
Tabla 20. Componentes químicos mayoritarios en las estaciones de monitoreo.....	55
Tabla 21. Prueba de normalidad de los componentes químicos mayoritarios.....	59
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA), temporalmente , para el caso de los componentes químicos mayoritarios (aniones y cationes).....	60
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA), espacialmente , para el caso de los componentes químicos mayoritarios (aniones y cationes).....	60

Tabla 24. <i>Comparación múltiples de medias - contraste de Tukey del tipo de agua en base a sus componentes mayoritarios.....</i>	69
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Localización del Bofedal Piticocha sector 2.....	18
<i>Figura 2.</i> Mapa de localización del distrito de San Lorenzo de Quinti.....	20
<i>Figura 3.</i> Accesibilidad al bofedal Piticocha sector 2.	21
<i>Figura 4.</i> Criterio hidrológico para establecer los puntos de muestreo	25
<i>Figura 5.</i> Ubicación de los pozos de monitoreo hidroquímico	25
<i>Figura 6.</i> Instalaciones de pozos de monitoreo	29
<i>Figura 7.</i> Toma de datos <i>in situ</i> (pH, conductividad eléctrica y temperatura).....	31
<i>Figura 8.</i> Extracción de muestras de agua	32
<i>Figura 9.</i> Elaboración del diagrama Piper con el software diagrafes	35
<i>Figura 10.</i> Variación temporal del pH del agua	40
<i>Figura 11.</i> Variación temporal de la conductividad eléctrica del agua.....	41
<i>Figura 12.</i> Variación temporal de temperatura del agua	41
<i>Figura 13.</i> Variación espacial del pH del agua	43
<i>Figura 14.</i> Variación espacial de la conductividad eléctrica del agua	44
<i>Figura 15.</i> Variación espacial de la temperatura del agua	44
<i>Figura 16.</i> Variabilidad temporal del ión calcio	51
<i>Figura 17.</i> Variabilidad temporal del ión magnesio	52
<i>Figura 18.</i> Variabilidad temporal del ión sodio	52
<i>Figura 19.</i> Variabilidad temporal del ión potasio	53
<i>Figura 20.</i> Variabilidad temporal del ión bicarbonato	53
<i>Figura 21.</i> Variabilidad temporal del ión sulfato	54
<i>Figura 22.</i> Variabilidad temporal del ión cloruro	54
<i>Figura 23.</i> Variabilidad temporal del ión nitrato.....	55
<i>Figura 24.</i> Variabilidad espacial del ión calcio.....	56
<i>Figura 25.</i> Variabilidad espacial del ión magnesio	57
<i>Figura 26.</i> Variabilidad espacial del ión sodio.....	57
<i>Figura 27.</i> Variabilidad espacial del ión potasio.....	58
<i>Figura 28.</i> Variabilidad espacial del ión bicarbonato.....	58
<i>Figura 29.</i> Diagrama de Piper en la temporada seca julio 2017	62
<i>Figura 30.</i> Porcentaje de componentes químicos mayoritarios en la temporada seca	62
<i>Figura 31.</i> Diagrama de Piper en la temporada seca, octubre-2017.....	63

<i>Figura 32</i> Porcentaje de componentes químicos en la temporada seca, octubre-2017.	63
<i>Figura 33.</i> Diagrama de Piper en la temporada de transición, diciembre-2017.....	64
<i>Figura 34.</i> Porcentaje de componentes químicos en la temporada de transición, diciembre- 2017	65
<i>Figura 35.</i> Diagrama de Piper en la temporada húmeda, enero-2018.....	66
<i>Figura 36.</i> Porcentaje de componentes químicos en la temporada húmeda, enero-2018	66
<i>Figura 37.</i> Diagrama de Piper en la temporada húmeda, marzo-2018.....	67
<i>Figura 38.</i> Porcentaje de componentes químicos en la temporada húmeda, enero-2018	67

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Multiparámetro portátil Hanna modelo HI 9813-6	86
Apéndice 2. Protocolo de monitoreo para aguas subterráneas	87
Apéndice 3. Formato para recepción de muestras de agua	88
Apéndice 4. Resultados de los parámetros <i>in situ</i> del agua en el bofedal Piticocha sector 2	89
Apéndice 5. Resultados del análisis del agua	90
Apéndice 6. Gráficos de normalidad de los parámetros <i>in situ</i>	92
Apéndice 7. Histograma de los parámetros <i>in situ</i>	93
Apéndice 8. Gráficos de normalidad de los componentes químicos mayoritarios	94
Apéndice 9. Histograma de los componentes químicos mayoritarios	95

RESUMEN

La Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas cuenta con numerosos humedales altoandinos, donde el principal recurso para su existencia es el agua, aguas provenientes de precipitaciones pluviales, lagunas, glaciares, y sobre todo de afloramientos de las aguas subterráneas. Estos ecosistemas están siendo influenciados por la química del agua que los hace diferentes y característicos, siendo estas zonas de alta importancia en la preservación de la fauna y flora andina, y de beneficio para el ser humano en el aprovechamiento de los recursos naturales. En tal sentido, el objetivo principal de la investigación es brindar información sobre la caracterización hidroquímica en el bofedal Piticocha sector 2 y su variación temporal y espacial. Se registraron en campo los parámetros *in situ* del agua como temperatura, conductividad eléctrica y potencial hidrogeno, utilizando un equipo multiparámetro portátil HANNA HI9813-6, estos parámetros fueron registrados en 16 pozos de monitoreo previamente seleccionados mediante una malla de red de muestreo. Por otro lado, se recolectaron muestras de agua en 10 pozos de monitoreo seleccionados al azar y se analizaron los iones de cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) y aniones (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , CO_3^-) durante la temporada seca, transición y húmeda (julio, octubre y diciembre del 2017, enero y marzo del 2018). Con los datos obtenidos se analizaron las variaciones temporales y espaciales de los parámetros *in situ* y iones mayoritarios mediante pruebas estadísticas; asimismo se analizaron el tipo de agua en los 5 meses de muestreo mediante el diagrama de Piper procesado con el software diagrames. Se concluyó que la química del agua se caracteriza por contener aguas con pH ligeramente ácidos a pH ligeramente básicos (6,10 a 8,50), presentar conductividad eléctrica entre 100 a 830 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y una temperatura entre 7,30 a 12,50 °C. Los iones dominantes son el anión bicarbonato y catión calcio semejante en toda las temporadas y pozos de monitoreo, provocado por la disolución de calizas y dolomitas concentrados en los tipos de rocas, en tal sentido el tipo de agua es bicarbonatada cálcica (HCO_3^- , Ca^{++}) en un 99 % y el 1% bicarbonatada sódica y sulfatada cálcica, considerando a la química del agua de buena calidad para su aprovechamiento y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Hidroquímica, humedales altoandinos o bofedales, agua subterránea y subsuperficiales, tipo de agua, iones mayoritarios (aniones y cationes).

ABSTRACT

The Nor Yauyos Cochabamba Landscape Reserve has numerous high Andean wetlands, where the main resource for its existence is water, water from rainfall, lagoons, glaciers, and especially from groundwater outcrops. These ecosystems are being influenced by the chemistry of the water that makes them different and characteristic, these areas being of high importance in the preservation of the Andean fauna and flora, and of benefit to the human being in the use of natural resources. In this sense, the main objective of the research is to provide information on the hydrochemical characterization in the Piticocha wetland sector 2 and its temporal and spatial variation. In situ water parameters such as temperature, electrical conductivity and hydrogen potential were recorded in the field, using a HANNA HI9813-6 portable multiparameter equipment, these parameters were recorded in 16 previously selected monitoring wells using a sampling network mesh. On the other hand, water samples were collected in 10 randomly selected monitoring wells and cation ions (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) and anions (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) were analyzed during the dry, transition and wet season (July, October, December 2017 and January, March 2018). With the data obtained, the temporal and spatial variations of the in situ parameters and major ions were analyzed by means of statistical tests; Likewise, the type of water was analyzed in the 5 months of sampling by means of the Piper diagram processed with the diagrams software. It was concluded that water chemistry is characterized by containing waters with slightly acidic pH to slightly basic pH (6.10 to 8.50), presenting electrical conductivity between 100 to 830 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and a temperature between 7.30 to 12.50 ° C. The dominant ions are the bicarbonate anion and calcium cation similar in all seasons and monitoring wells, caused by the dissolution of limestone and dolomites concentrated in the rock types, in this sense the type of water is calcium bicarbonate (HCO_3^- , Ca^{++}) 98% and 2% sodium bicarbonate and calcium sulfate, considering the chemistry of good quality water for its use and sustainable development.

Key words: hydrochemistry, high andean wetlands or bofedales, underground water and subsurface, type of water, major ions (anions and cations), RPNYC.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país considerado el tercer país más vulnerable del mundo detrás de Honduras y Bangladesh ante los efectos del cambio climático a causa del calentamiento global. Se predice que en 40 años la disponibilidad de agua alcanzará solo el 60 % de lo que actualmente se dispone, según el informe emitido por Instituto Tyndall Center de la Universidad de Manchester de Inglaterra, 2004.

En los últimos años, los glaciares se han reducido notablemente ante los efectos del cambio climático, este es el caso de los glaciares que alimentan la cuenca del río cañete, perteneciente a la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, en tanto que se ha reducido severamente en casi un 80 %, esto ha provocado la pérdida de infraestructuras naturales de producción y almacenamiento de agua (lagunas, bofedales y pajonales). Asimismo, se ha perdido las prácticas tradicionales de conservación del agua que afecta no solo la biodiversidad, sino también el sustento de la población (Quinteros, 2017).

Los bofedales son reguladores hídricos de los ecosistemas de los Andes encontrándose en medio de los macizos rocosos, presentando una vegetación hidrofítica de alta diversidad para alimentación de ganados y producción de combustible a partir de la turba (Alcántara, 2019). Desde siglos atrás, estos ecosistemas se han visto afectados por el sobre pastoreo, aunque el impacto era mínimo; mientras que hoy en día son alterados principalmente por el turismo y el cambio climático que incide sobre todo en la hidrología (Calvo, 2016).

La finalidad de la creación de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas fue la conservación de las cuencas altas de los ríos Cañete y Pachacayo (zonas donde nacen los ríos) en donde se encuentran los bofedales. Las funciones principales de estos ecosistemas es asegurar la captación y almacenamiento de agua durante todo el año para beneficio de la población asentada y la supervivencia de la flora y fauna. Por este motivo en los proyectos de investigación de la reserva se priorizaron temas de investigación como: estudio de flora y vegetación, hidroquímica, limnología, etc., los cuales permiten conocer la dinámica integral

del ecosistema, y en adelante proponer alternativas de conservación ante la amenaza creciente del cambio climático (Quinteros, 2017).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Caracterizar hidroquímicamente las aguas, y determinar su variabilidad temporal y espacial del bofedal Piticocha sector 2, en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

Objetivos Específicos

- Determinar posibles variaciones temporales y espaciales de los parámetros *in situ* del agua en el bofedal Piticocha sector 2, de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.
- Describir posibles variaciones temporales y espaciales de los componentes químicos mayoritarios del agua en el bofedal Piticocha sector 2, de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.
- Identificar el tipo de agua presente en el bofedal Piticocha sector 2, de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas en relación con sus componentes mayoritarios.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Investigaciones realizadas en temas relacionados con la caracterización hidroquímica de aguas en bofedales, normalmente lo encontramos en países que constituyen la biorregión de las altas montañas tropicales. A nivel internacional se han desarrollado investigaciones en los países que integran estos ecosistemas como son: Bolivia, Chile, Ecuador, Venezuela, etc.; mientras que en el ámbito nacional existe escasa información en temas relacionados a este estudio, sin embargo, se ha rescatado información de estudios realizados en relación con el análisis químico del agua en estos ecosistemas.

1.1.1. Ámbito internacional

Ministerio de Bienes Nacionales (2015), realizaron una investigación sobre la “Determinación de la condición ambiental de bofedales de Paisalla y Caquena en Chile, y ocupación de comunidades indígenas”. El objetivo fue realizar un análisis de la condición biótica y abiótica de 4 bofedales (Caquena, Laitana, Taipuma y Chapoco), dentro de ello caracterizaron hidroquímicamente el agua. El método que utilizaron para caracterizar hidroquímicamente el agua fue seleccionar 5 sitios en el cauce del río Caquena (de sur a norte), ubicando dos puntos en un área de drenaje (al oeste del sector norte del curso del río), y tres puntos en el transepto hacia el este del cauce del río (en la parte sur y una llanura al pie de los nevados). Luego, registraron en la columna de agua los valores de temperatura, conductividad eléctrica, pH, etc. con la ayuda de un equipo multiparamétrico (HANNA HI9829); al mismo tiempo recolectaron muestras de agua para los análisis en laboratorio siguiendo el protocolo (en recipientes de polietileno de 3 litros, las cuales fueron refrigeradas), en donde analizaron contenidos de aniones mayoritarios: cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Concluyeron que el agua en los bofedales fue de buena calidad y los contenidos de iones mayoritarios no sobrepasaron los valores considerados.

Avila (2013) realizó un estudio sobre “caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del humedal altoandino Chaquilla en Potosí-Bolivia”. El objetivo fue efectuar la caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica, para lo cual buscó determinar los procesos que controlan el flujo y aquellos que previenen la nitrificación, salinización y alcalinización. La metodología consistió en la instalación de una red de piezómetros para monitorear la fluctuación de niveles y determinar la conductividad hidráulica a través de las pruebas de slug y análisis de tamaño de grano; en donde midió los parámetros físicoquímicos, alcalinidad, CO_2 y tomó muestras de agua subterránea y superficial para análisis de iones mayoritarios y SiO_2 . Los resultados indicaron que las aguas presentaron valores elevados de pH, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NO_3^- , HCO_3^- y CO_3^{2-} ; y bajas concentraciones de K^+ y Mg^{++} al estar sometidos a condiciones fuertes de evaporación. Concluyó que el modelo hidrogeoquímico conceptual no presentó evidencias del proceso de salinización y alcalinización de la superficie del bofedal, y que la actividad pastoril no produjo nitrificación.

Cepeda (2013), sostuvo que los parámetros físicos e hidroquímicos en los prados húmedos altoandinos son fluctuantes, ante ello pretendió caracterizar el agua de la vega Tambo-Puquíos en relación con algunos parámetros físicoquímicos y iones mayoritarios, al mismo tiempo analizar la dinámica mensual y estacional. Para este estudio estableció una red de piezómetros de 10 m de profundidad donde sustrajo muestras de agua para los análisis en laboratorio, considerando las variables de pH, sólidos disueltos totales, hierro, manganeso, cobre, arsénico y sulfato. En los resultados el pH del agua osciló entre ligeramente ácido y neutro (pH= 5 y 7), al mismo tiempo resaltó la presencia del sulfato como ion dominante y alto contenido de sólidos disueltos totales (471,1 a 642,5 mg.l^{-1}). En conclusión, mencionó que el agua de la vega Tambo-Puquíos estuvo representada por aguas sulfatadas, no obstante, también observó que las características químicas del agua tuvieron valores muy variados y no tuvo relación con las características geológicas por donde fluye el agua.

1.1.2. Ámbito nacional

Ramos (2018) ejecutó un estudio sobre “caracterización hidroquímica y la calidad de agua subterránea en el distrito de Uchumayo, Arequipa-Perú” entre los meses de enero y diciembre. El objetivo fue determinar la condición y aprovechamiento sostenible del agua. La metodología consistió en establecer 8 puntos de monitoreo en cada uno de ellos registró

las variables hidroquímicos (conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, alcalinidad total y principales iones) y para los análisis estadísticos utilizó el programa SPSS V. 22,0. En resultados determinó un rango promedio de temperatura entre 21 a 24 °C , pH entre 6,55 y 8,51, conductividad eléctrica entre 889,25 a 16 763,19 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sólidos totales disueltos entre 551,96 a 14364,74 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, alcalinidad total media entre 45,91 y 102,18 mg/l (se mantuvo bajo) y las características hidroquímicas dominados por cloruros, sulfatos, calcio y magnesio comparando estos valores con los parámetros de calidad ambiental para agua de bebida. Concluyó que el agua subterránea tiene potencial de uso y aprovechamiento, sin embargo, requiere de un tratamiento previo, ya que los valores de conductividad eléctrica resultaron por encima de los valores de la OMS para consumo humano y probablemente también para la agricultura.

Choy (2018) realizó un estudio de “caracterización hidroquímica y su variabilidad espaciotemporal en los bofedales altoandinos de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, sector Moyobamba”. Estableció 34 pozos de monitoreo distribuido en todo el bofedal, y consideró 3 sectores importantes, en cada uno de ellos midió las propiedades físicoquímicas (pH, temperatura y conductividad eléctrica) utilizando un multiparámetro HANNA; adicionalmente recolectó muestras en 10 pozos para los análisis de componentes mayoritarios (aniones y cationes), la medición lo realizó durante los meses de mayo, julio y octubre del 2017 (temporada seca) y febrero del 2018 (temporada húmeda). Para los análisis de datos utilizó el diagrama piper (% meq/l) y pruebas estadísticas (pruebas de normalidad, ANOVA, Tukey y correlación). Concluyó que el agua en el bofedal Moyobamba fueron aguas de tipo bicarbonatado cálcico y/o bicarbonatado magnésico, debido probablemente a la influencia de piedras calizas en su formación geológica; asimismo, afirmó que la concentración de iones y conductividad eléctrica aumenta al acercarse la temporada seca; por otro lado, el pH resultó ligeramente ácido (pH=6,6) debido probablemente al proceso de descomposición de materia orgánica, por último menciona que el valor promedio de temperatura es un valor normal para este tipo de ecosistemas (8 °C).

Portal *et al.* (2018), sostienen que los bofedales altoandinos en la microcuenca Apacheta, Ayacucho escasean de cobertura vegetal por diferentes factores, frente a esta situación proponen analizar los efectos físicoquímicos del agua (pH, CE, salinidad y agua de la napa

freática). La investigación fue no experimental de tipo descriptivo- correlacional. La muestra considerada fue de 2 bofedales (Guitarrachayoce y Pichecahuasi) en donde determinaron al azar transversal la cobertura vegetal en las unidades muestrales (1m^2) a lo largo del transecto y por cada unidad muestral realizaron orificios con un barreno manual para la toma de muestra de agua (frascos de polietileno de 0,7 litros), la data lo presentaron en tablas y gráficos exponiendo los estadísticos descriptivos y para los análisis de datos (correlación canónica) utilizaron el software SPSS 15. En resultado mostraron que la zona con cobertura vegetal presentaba valores de conductividad eléctrica de 100 a $250\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ considerándolos como aguas de baja salinidad, mientras que zonas con ausencia de cobertura vegetal la CE era de 250 a $750\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ considerándolos como agua de salinidad media; Por otro lado, mencionan que la geología influye en zonas donde la salinidad aumenta y el pH disminuye a razón de la interacción agua-roca, por lo general relatan que las sales de calcio están presentes en estos suelos. Por consiguiente, concluyeron que la interacción entre la cobertura vegetal y las características químicas aciertan a un 69 % concretando que a medida que disminuye el pH y aumenta la CE y salinidad ocasionando pérdida de cobertura vegetal.

Cooper *et al.* (2010) realizaron un estudio sobre el “análisis ecológico de humedales en la alta montaña Jalca por encima de 3 700 m.s.n.m. cercano a Cajamarca, Perú”. El objetivo del estudio fue identificar variables físicas que controlan la composición florística de varios humedales muestreados. La metodología consistió en establecer estaciones de monitoreo en los 36 humedales altoandinos y tomar datos entre los meses de setiembre y octubre del 2005, al mismo tiempo recolectaron muestras de agua para los análisis de iones (calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, cloruro, sulfato y carbonato) y metales disueltos (cobre y hierro). Los datos fueron analizados mediante una correlación canónica y por el diagrama de piper para determinar el tipo de agua. La composición florística estuvo controlada en gran parte por la química del agua subterránea, la cual fue variada en las diferentes cuencas. En las cuencas con rocas altamente mineralizados el pH resultó 3,7, y era alto en CaSO_4 , mientras que, en las cuencas con calizas, mármol, y skarn el pH resultó 8,2 y alto en CaHCO_3 . Los autores concluyeron que la diversidad de plantas existentes en estos humedales es influenciada por el gradiente geológico y geoquímico que contienen concentraciones de iones muy variados.

Apucusi (2019) desarrolló un estudio sobre la “caracterización físicoquímica, hidrológica y ecológica de las aguas subterráneas de los distritos de Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya, Pocsi, Yarabamba y Sabandia de la provincia de Arequipa, Perú”. El objetivo fue determinar el estado físicoquímico, ecológico e hidrogeoquímico de las aguas subterráneas. La metodología básicamente fue la recopilación y análisis de datos de los parámetros físicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y metales), principales iones (sulfato, bicarbonato, carbonato, cloruro, sodio, magnesio, calcio y potasio) y los indicadores ecológicos (fitoplancton y fitobentos) durante la temporada húmeda (diciembre-mayo) y seca (junio y noviembre), para tal efecto utilizó una hoja de Excel INAQUA. Los resultados de los parámetros físicoquímicos fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, agua de consumo humano potabilizado sin desinfección (categoría 1-A1) y agua para riego de vegetales y consumo de animales (categoría 3-D1-D2). Concluyó que los resultados estuvieron por debajo de los rangos de los ECAs; en cuanto a la evaluación hidrogeoquímica las aguas subterráneas tuvieron dominancias diversas; encontrándose aguas sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas cálcicas, sódicas y magnésicas, indicando que estas aguas pertenecen a un mismo acuífero en donde el flujo interno y la interacción con el suelo caracterizan a dichas aguas.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Humedales altoandinos o bofedal

Los bofedales, también llamados oconales, son ecosistemas que se encuentran en las zonas altoandinas y en su mayoría están acompañados de lagunas o aguas de corriente lenta, en ellas el suelo se encuentra saturado de agua, es decir la humedad siempre es alta, y es en estas zonas donde se desarrolla una vegetación siempre verde (Gómez, 1966).

Los bofedales conocidos también como turberas son ecosistemas únicos de gran altitud que prosperan los límites extremos, ya que se desarrollan en medio de fuertes vientos, radiación solar intensa, congelamiento constante y disminución de oxígeno. Los bofedales al presentar una cobertura vegetal siempre verde son aprovechados por lo general en pastoreo de camélidos y vale resaltar que es el centro económico las poblaciones asentadas (Avila, 2013).

Alegría *et al.* (2000), manifiesta que los humedales altoandinos son cúmulos de vegetales que se encuentran en ambientes húmedos en constante descomposición orgánica, debido a la abundante presencia del agua y la diversidad biológica. Asimismo, son ecosistemas primordiales de reserva y conservación del ciclo hidrológico, fuentes naturales de agua, fuentes de recarga y descarga de acuíferos y actúan como barreras naturales contra inundaciones (Gil, 2011).

1.2.2. Clasificación de bofedales

Los bofedales pueden tener diferentes clasificaciones, según la calidad, cantidad y permanencia del agua que los riega (Alzérreca, 1988), así como también según las propiedades físicoquímicas del suelo y agua (Alzérreca *et al.*, 2001) o una combinación de varias de estas características. Según la topografía, pendiente, altitud, suelo, etc. son otros subtipos de bofedales (Beck, 1985). Según Calvo (2016), los bofedales se clasifican por su origen, su tamaño, receptividad, altitud y grado de pH.

a. Por su origen

Los bofedales pueden ser formados de manera natural o producto de inundaciones de deshielos de nevados que tienen formas semicirculares y profundos, así como también creados por el hombre (regadío), estos se encuentran mayormente en zonas cerradas con pendientes deprimidas, formados por procesos geológicos, geomorfológicos, etc., en donde se almacena agua de origen subterráneo o superficial, por lo que el agua subterránea juega un papel importante en el origen y evolución de estos bofedales (Durán *et al.*, 2009, citado por Calvo 2016).

b. Por su tamaño

Estos tipos de bofedales se clasifican en grandes y pequeños. El primero es considerado por ser extenso y tener un número variable de familias en la crianza de ganados, con fuentes de agua de deshielo de glaciares y descarga de aguas subterránea asociada al sistema de flujo regional; el segundo son los tipos de bofedales que se ubican en parcelas familiares (protegido y utilizados por los propietarios). El agua proviene principalmente de la descarga subterránea, aguas de deshielo y escorrentía superficial.

c. Por su receptividad

Estos bofedales se clasifican según la disponibilidad del agua a lo largo del año. Dentro de este tipo bofedales García y Otto (2015), refieren que estos se pueden dividir en dos tipos de humedales: perennes y temporales; diferenciándose por los cambios estacionales de la vegetación y la disponibilidad de agua (continuo y temporal).

d. Por su altitud

Estos bofedales se clasifican de acuerdo con las altitudes, los bofedales de tipo altioplánico varían desde los 3 800 m.s.n.m. hasta los 4 100 m.s.n.m. y los bofedales de tipo altoandino, con altitudes comprendidas entre los 4 100 m.s.n.m. y 4 500 m.s.n.m.

e. Por su grado de pH edáfico

Estos bofedales dependen del grado de acidez y alcalinidad del suelo, clasificándolos como ácidos cuando el pH es inferior a 7, pH neutros mientras el pH es igual a 7 y alcalinos cuando los valores superan los 7.

1.2.3. Importancia de los bofedales

La importancia de estos ecosistemas básicamente está en función a los servicios ecosistémicos que proveen, pues mantienen una cobertura vegetal continua más o menos densa durante todo el año (Navarro, 1999; Spehn *et al.*, 2006). Según Alegria *et al.* (2000), estos humedales son de importancia social, cultural, ambiental y económico pues brinda sustento a las comunidades, proporcionan alimentos para los ganados y son considerados hoy en día ecosistemas únicos. Asimismo, el hábitat ofrece numerosas especies de plantas y animales silvestres, también ofrecen una variedad de microhábitats utilizados como lugares de nidificación, alimentación y protección por numerosas especies de aves pequeñas.

1.2.4. Impactos ambientales de los bofedales

Los bofedales son considerados ecosistemas frágiles que han sido afectados históricamente por la ganadería debido al sobrepastoreo; la introducción de especies exóticas y por la contaminación por relaves mineros. Así como también por procesos cuando se instalan canales, represas de agua, hidroeléctricas o perforaciones de pozos para extracción de agua. Actualmente estos ecosistemas están expuestos a la amenaza creciente del cambio climático lo que afectaría principalmente la hidrología (Calvo, 2016).

El efecto del cambio climático en los bofedales tiene comportamiento negativo, debido a la alteración de la flora y fauna andina. Estos ecosistemas al encontrarse en las zonas altoandinos cercano a los glaciares se verán afectados en un futuro a la disminución y cese de la escorrentía subterránea y superficial a causa de los deshielos, por ende, se verán alterado la hidroquímica del agua, los pastizales (pastos secos), muertes de camélidos sudamericanos, así como también dañarán la economía familiar (Crispin, 2015).

1.2.5. Bofedales en la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas

Según Villazana (2014), la ubicación de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas está entre la cuenca alta y media del río cañete y el río cochas Pachacayo, perteneciente al departamento de Lima y Junín, las zonas de bofedales ocupan 16 894,3 hectáreas (7,64 % del área total de la RPNYC) de las 221 261,4 hectáreas que ocupa la RPNYC. Asimismo, considera que estos ecosistemas son conocidos como humedales alto andinos u oconales que presentan grandes extensiones de terrenos húmedos con estanque y corriente de agua, vegetaciones pequeñas a manera de almohadillas que son de gran importancia para los herbívoros nativos y domésticos.

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2011) resalta que estos bofedales se encuentran en el borde de las lagunas y cochas, conformados por hierbas almohadilladas o cojín, conocidas como también como “turba”, lo cual permanecen siempre verdes debido a la humedad. Por otro lado, menciona que estos bofedales se encuentran amenazados por la contaminación de desechos, la expansión agrícola y el sobrepastoreo.

1.2.6. Caracterización hidroquímica del agua subterránea y/o subsuperficiales en bofedales y su composición

La caracterización hidroquímica es la acción de caracterizar químicamente el agua. Su composición natural del agua se debe a la interacción entre distintos factores, como puede ser la concentración del agua atmosférico, características del suelo y su naturaleza geológica que determinan la concentración y tipo de agua. La química del agua básicamente se define a partir de la recolección de muestras de agua y análisis en laboratorio (cuantificando mediante concentraciones) determinando entre 10 a 20 parámetros (Ramos,2018). El agua subterránea está compuesta principalmente por iones de sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, bicarbonato, y su contenido está influenciado por la evolución de estos elementos en el suelo y tipo de rocas por donde circula el agua, así como también por procesos geológicos (Rodríguez *et al.*, 2003).

García *et al.* (2012), indican que caracterizar las agua hidrómicamente y analizar su variación espacio temporal proveen información de su origen y variables que los alteran. Asimismo, refieren que para realizar la caracterización y clasificación hidroquímica de las aguas se emplean distintas variables físicoquímicas y sus contenidos de aniones y cationes considerando su distribución espacial y evolución temporal.

Según Ramos (2018), los componentes mayoritarios del agua subterránea se a clasificado complementando la clasificación de Freeze y Cherry (1979) por su frecuencia y concentración del agua subterránea los cuales son:

- **Componentes mayoritarios**

- Aniones: (Bicarbonato + carbonato), cloruro y sulfato
- Cationes: Calcio, magnesio, sodio, potasio, nitrato
- Otros: Dióxido de carbono, oxígeno, dióxido de silicio

A continuación, se describe las características de los componentes químicos mayoritarios:

- **Bicarbonatos y carbonatos**

Una de las fuentes de generación de carbonatos y bicarbonatos es la disolución de calizas y dolomitas provocado por el aporte de dióxido de carbono y/o ácidos orgánicos e inorgánicos, aunque el aporte al agua es mínimo. La mayoría en donde las aguas subterráneas presentan pH menores a 8,3 está presente el ion bicarbonato, presentando concentraciones que varía entre 50 y 400 mg.l⁻¹ aunque algunas ocasiones suele encontrarse hasta 800 mg.l⁻¹ (Ramos, 2018).

- **Ion Calcio (Ca⁺⁺)**

El catión calcio suele estar presente en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas por lo que su concentración en las aguas naturales siempre es alta a comparación de otros cationes. Las variables que controlan la concentración del calcio en el agua subterránea son: equilibrio carbónico, aporte de hidrógeno e intercambio iónico. El aporte del catión calcio al agua se da sobre todo en terrenos arcillosos, donde la superficie de minerales entra en contacto con el agua. Por lo general la concentración del calcio en aguas dulces varían entre 10 y 250 mg.l⁻¹ (Ramos, 2018).

- **Ion magnesio (Mg⁺⁺)**

La concentración del magnesio es menor que el calcio en las aguas naturales. Estos proceden especialmente de las disoluciones de rocas carbonatadas como dolomitas y calizas magnesianas. El contenido del ion magnesio no sobrepasa los 40 mg.l⁻¹ aguas dulces naturales (Ramos, 2018).

- **Ion sodio (Na⁺)**

El sodio es generado por la meteorización de silicatos tipo albita (NaAlSi₃O₈) o también por la disolución de rocas sedimentarias de origen marino, generalmente se presenta como cloruro de sodio. Su concentración tiende a variar en aguas naturales, los valores pueden alcanzar hasta 120 000 mg.l⁻¹ en zonas evaporíticas; sin embargo, algunas veces alcanza entre 100 a 150 mg.l⁻¹ en aguas dulces normales (Ramos, 2018).

- **Ion potasio (K^+)**

El potasio suele encontrarse en procesos de formación de arcillas, así como también mediante la adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. Su concentración es menor que el ion sodio en aguas subterráneas naturales. La concentración del potasio en aguas subterráneas no suele sobrepasar los 10 mg.l^{-1} (Ramos, 2018).

- **Sulfatos (SO_4^-)**

La concentración del ion sulfato por lo general se obtiene del lavado de terrenos en zonas marinas; también proviene del desprendimiento de sulfuros en ambientes de rocas ígneas y sedimentarias, y en pequeñas cantidades es el resultado de la descomposición orgánica (Ramos, 2018).

1.2.7. Características físicoquímicas o *in situ* del agua

Según Ramos (2018), el agua subterránea natural presenta diferentes características físicoquímicas como color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc. debido a su composición química y acciones naturales. A continuación, se detallan los más importantes.

a. Potencial hidrógeno (pH)

El valor del pH representa el grado de acidez del agua. El $pH=7$ son aguas neutras, $pH<7$ son aguas ácidas y $pH>7$ son aguas básicas. En la mayoría de las aguas naturales el pH se mantiene entre 6,5 y 8, aunque algunas veces puede variar entre 3 y 11. Es importante su medición *in situ* en procesos químicos y biológicos ya que es alterado fácilmente con el aumento de la temperatura hasta un 8% (Ramos, 2018).

b. Conductividad eléctrica del agua ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

Es la capacidad que tiene una sustancia para conducir la corriente eléctrica, pues a medida que aumenta la concentración de iones aumenta también la conductividad eléctrica. El resultado de la conductividad eléctrica suele variar notablemente en aguas subterráneas naturales, los valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Ramos, 2018).

Sánchez (2011), señala que el agua es un facilitador para conducir corriente eléctrica. Su importancia se basa en la medición *in situ*, el cual nos indica aproximadamente el grado de salinidad del agua.

Tabla 1

Rangos de conductividad eléctrica según el tipo de agua

	C ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Pura	0,05
Destilada	0,5- 5
Lluvia	5-30
Subterránea	30 - 1 000
Potable	
Mar	50

Fuente: Sánchez (2011).

c. Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)

La temperatura del agua representa el estado calorífico en un punto y momento determinado. En las aguas subterráneas la temperatura es poco variable y se considera importante cuando se refiere al control de quimismo de las aguas, ya que pueden influir en la solubilidad de determinadas sustancias (Ramos, 2018).

Es importante que la temperatura sea medida en campo para una interpretación confiable y detallada de la composición química del agua. La temperatura del subsuelo aumenta 3 °C cada 100 metros de profundidad (Sánchez, 2011).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación es de tipo descriptivo ya que se describe las propiedades hidroquímica del agua subsuperficial en el bofedal Piticocha sector 2. Alfaro (2012), refiere que este tipo de investigación hace referencia a las características, cualidades, propiedades, etc., de los hechos y fenómenos de la realidad en un momento determinado. Es de tipo no experimental puesto que no se manipulan las variables, solo se basa fundamentalmente en la información resultante del trabajo de campo y los análisis de muestras de laboratorio tal y como se dan en su contexto natural, este tipo de investigación se utiliza siempre y cuando se desea analizar el nivel o estado de una o diversas variables. También es de tipo longitudinal por el interés de analizar los cambios a través del tiempo, mediante recolección de datos en puntos y periodos específicos. Por último, es de tipo correlacional porque se realizó los análisis de relación entre las variables hidroquímicas.

2.2. Lugar y fecha

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el Bofedal Piticocha sector 2, ubicado en la Reserva Paisajística nor Yauyos Cochas, perteneciente al distrito San Lorenzo de Quinti, provincia de Huarochirí, región Lima (Figura 1).

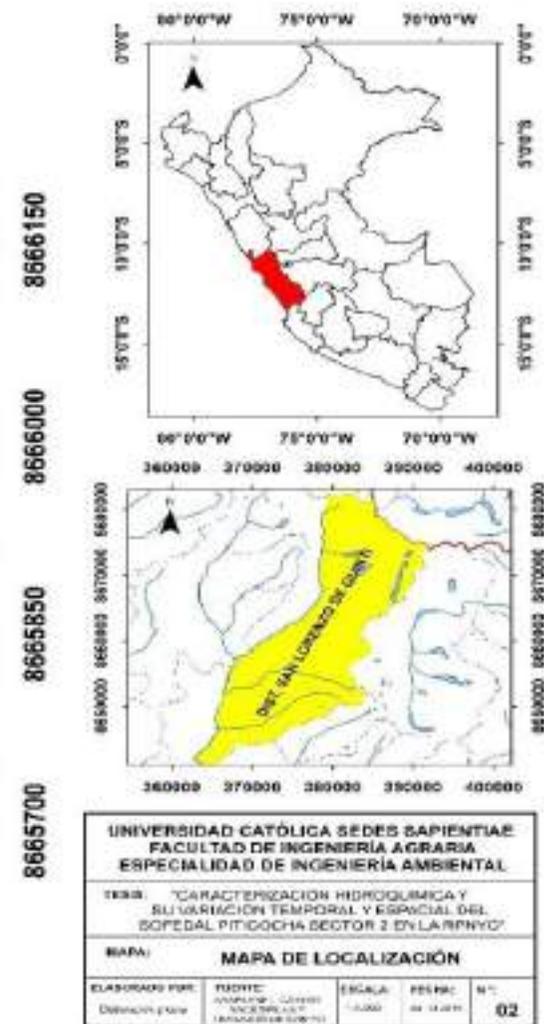
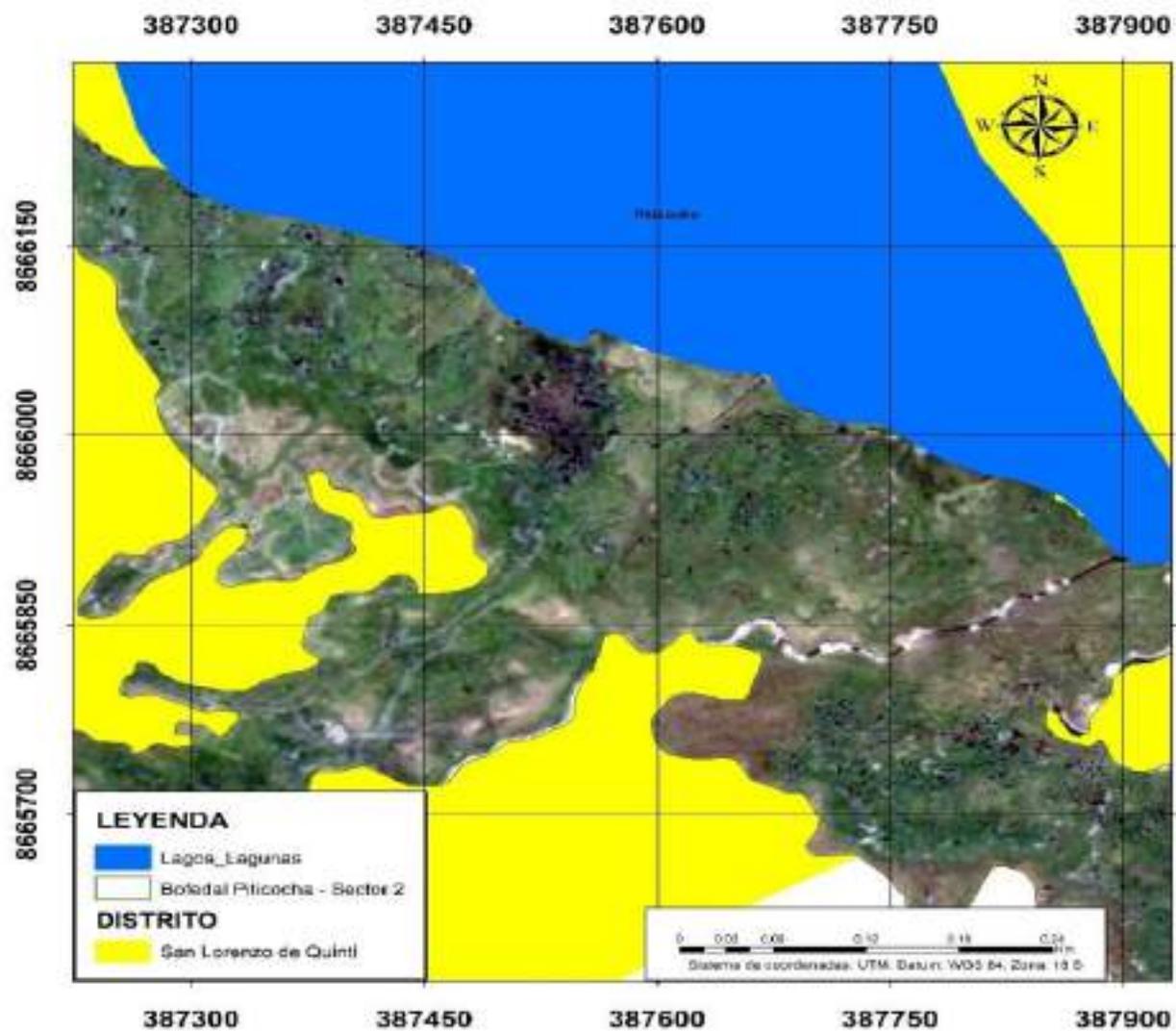


Figura 1. Mapa de ubicación del bofedal Piticocha sector 2. Fuente: Elaboración propia

Geográficamente está ubicado en la parte norte de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, a una altitud de 4 235 m.s.n.m. y registra una precipitación media anual de 800,9 mm (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2016).

Según información primaria, el bofedal Piticocha sector 2 se encuentra ubicado en el lado oeste de la laguna Piticocha, el cual es alimentado por esta laguna sobre todo en época seca. Por otro lado, el bofedal viene siendo aprovechado por la actividad del pastoreo de camélidos sudamericanos y vacunos, provocando en algunas zonas la compactación del suelo. La vegetación se muestra verdoso cuanto más cercano a la laguna se encuentre, y se visualiza una variación de vegetación en las diferentes zonas.

Existe escasa información de registros climatológicos propio del área de estudio, en este caso se ha encontrado registros climatológicos del distrito de San Lorenzo de Quinti en general. La zona presenta un clima variado, la temperatura en los meses más cálidos se presentan por encima de 10 °C. En los meses más fríos entre -3 °C hasta 18 °C. El mes más seco es el mes de julio con 0 mm de lluvia y el mes más húmedo es el mes de marzo, presentando una precipitación promedio de 84 mm. Febrero es el mes con temperatura más templada con promedio de 13,9 °C, el mes de julio es el mes con temperaturas medias más bajas y se presenta alrededor de 10 °C. La diferencia de precipitación en los meses más secos y cálidos es de 84 mm y la variación de temperaturas durante todo el año es de 3,9 °C.

El distrito San Lorenzo de Quinti tiene una extensión de 467,58 km², se encuentra comprendido entre los 2 600 a 5 500 m.s.n.m. Presenta valles interandinos y diferentes pisos latitudinales, asimismo; se encuentran los centros poblados Santa María de Huanchac, San Bartolomé de Palermo y Huachipampa. La densidad poblacional estimada es de 1 625 habitantes, según el XI Censo Nacional del 2017 (Figura 2).

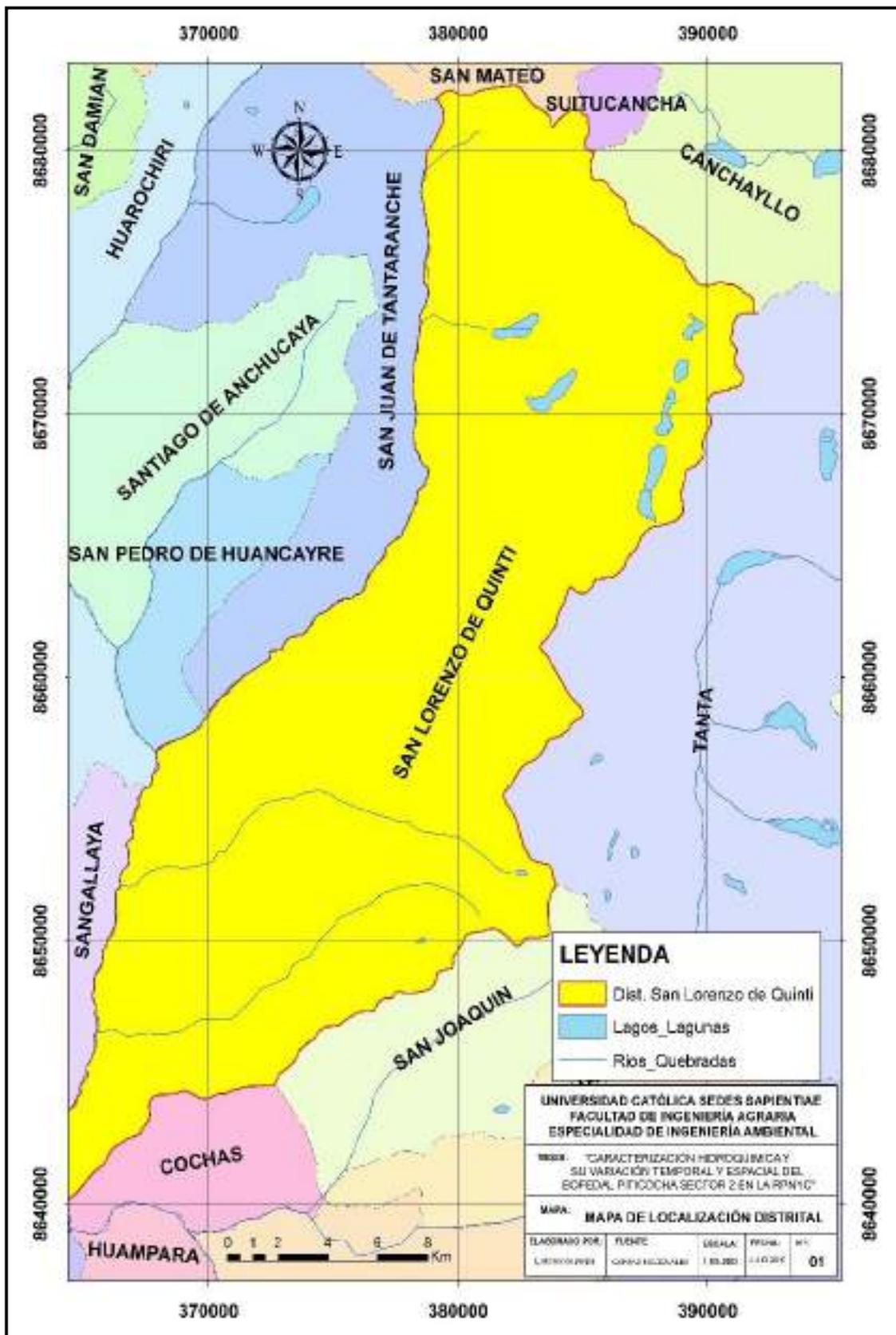


Figura 2. Mapa de localización del distrito de San Lorenzo de Quinti. Fuente: Instituto nacional de estadística e informática [INEI] (mapa referencial), (2011).

El bofedal Piticocha sector 2 se encuentra cercano a la comunidad de Huachipampa, como antes mencionado, esta comunidad es un anexo del distrito de San Lorenzo de Quinti. Asimismo, para llegar al lugar al lugar de estudio es más accesible dirigirse por la ruta del distrito de Tanta, provincia de Yauyos, ya que en dicho lugar se encuentra el puesto de control de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (Figura 3).



Figura 3. Accesibilidad al bofedal Piticocha sector 2. Fuente: Elaboración propia.

La ejecución de la presente investigación tuvo una duración de 8 meses habiendo iniciado en el mes de julio del 2017 y culminado el mes de marzo del 2018, cubriendo la temporada seca (julio y octubre del 2017), temporada de transición (diciembre del 2017) y temporada húmeda (enero y marzo del 2018).

2.3. Materiales

Los materiales que se utilizaron en la etapa de campo son:

- ✓ GPS
- ✓ Barreno metálico circular
- ✓ Tuvo pvc 2" y tapa:
- ✓ Bailer:
- ✓ Multiparámetro HANNA HI9813-6:
- ✓ Manguera cristal transparente de ½"
- ✓ Botellas de 0,5 litros
- ✓ Cooler
- ✓ Refrigerantes
- ✓ Libreta de campo

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población estuvo constituida por el contenido total de aguas subsuperficiales en todo el bofedal Piticocha sector 2, distrito de San Lorenzo de Quinti, perteneciente a la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, ubicados por encima de los 4 000 m.s.n.m.

2.4.2. Muestra

Las muestras estuvieron constituidas por 16 estaciones de monitoreo hidroquímico, en donde se tomaron datos *in situ* y en 10 de estas estaciones seleccionados al azar se extrajeron muestras de agua para los análisis en laboratorio. Cabe indicar que las muestras de aguas se recolectaron durante 5 meses bimestralmente, cubriendo la temporada seca y húmeda en el año 2017 y 2018.

2.5. Descripción de la investigación

La metodología para determinar las características hidroquímicas de las aguas subterráneas del bofedal Piticocha sector 2, se realizó a través de una estrategia de trabajo que consistente en las siguientes acciones:

2.5.1. Fase preliminar

En esta primera fase se recolectaron información bibliográfica sobre caracterización hidroquímica en bofedales, tanto de nivel internacional como nacional; se hizo revisión de mapas existentes y se confeccionó un mapa base (Ubicación geográfica) con el programa Arc Gis 10.1. Asimismo, en la primera salida de campo se realizó un reconocimiento del área de estudio, en donde se recurrió al mapa de ubicación, GPS, y la información de los Guardaparques de la RPNYC en la sede Tanta.

2.5.2. Fase de campo

a. Reconocimiento del Bofedal

Se realizó a través de una visita a campo en la primera salida del mes de Julio- 2017, para ello se utilizó un GPS; asimismo, se contó con el apoyo de los Guardaparques donde nos brindaron información primaria (Choy, 2018).

b. Establecimiento de los pozos de monitoreo

Para establecer los pozos de monitoreo hidroquímico en el bofedal Piticocha sector 2, se tomaron en cuenta 3 criterios principales: el primero por la presencia de la turba, el segundo por una cantidad significativa de agua que es alimentado por una laguna cercana llamado “Laguna Piticocha”, y el tercero por un criterio hidrológico (Figura 4), el cual consistió en definir los pozos de monitoreo hidroquímico formando líneas paralelas, como una red cuadriculada en forma de grillas (definición de una malla de muestreo) con el fin de simular el flujo de las aguas subterráneas que alimentan las turbas (Choy, 2018), de tal manera que se seleccionó un numero representativo de pozos de monitoreo (Figura 5) que permitieron

caracterizar químicamente el agua en base a sus componentes mayoritarios, del mismo modo que permitan cubrir al menos el 80 % del espacio cubierto por la red de monitoreo total.

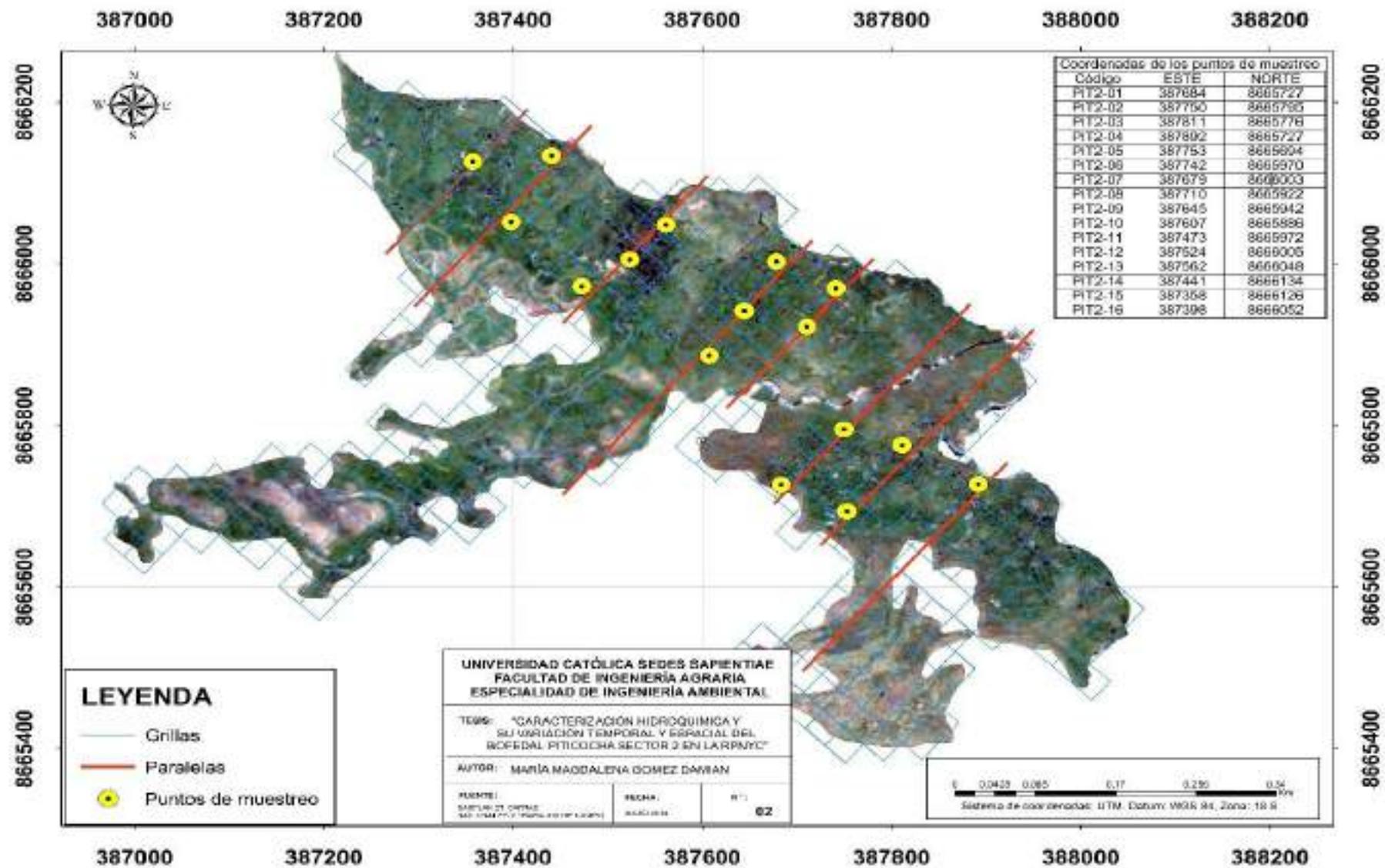


Figura 4. Criterio hidrológico para establecer los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

c. Ubicación de los pozos de monitoreo

En el bofedal Piticocha sector 2 se establecieron 16 pozos de monitoreo hidroquímico (Figura 5).

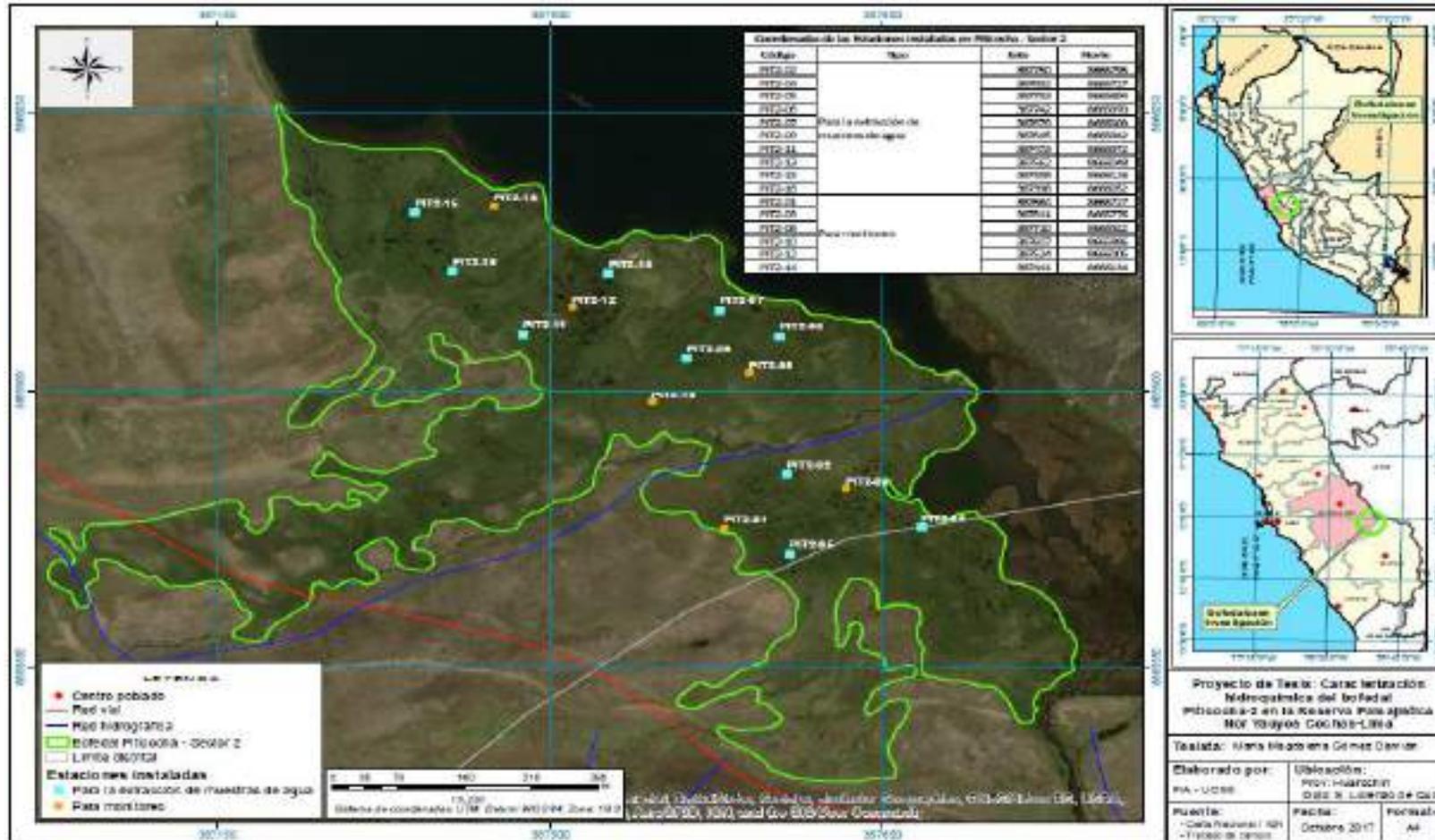


Figura 5. Ubicación de los pozos de monitoreo hidroquímico. Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido el punto y/o pozo de muestreo se registraron las coordenadas con la ayuda de un GPS (Tabla 2) y se anotaron en una libreta de campo.

Tabla 2

Coordenadas de los pozos de monitoreo hidroquímico

Estación	Coordenadas	
	Este	Norte
PIT2-01	387684	8665733
PIT2-02	387750	8665795
PIT2-03	387809	8665776
PIT2-04	387892	8665727
PIT2-05	387757	8665693
PIT2-06	387742	8665970
PIT2-07	387679	8666003
PIT2-08	387709	8665924
PIT2-09	387645	8665942
PIT2-10	387607	8665884
PIT2-11	387473	8665972
PIT2-12	387521	8666005
PIT2-13	387562	8666048
PIT2-14	387442	8666135
PIT2-15	387358	8666126
PIT2-16	387398	8666052

Fuente: Elaboración propia

d. Instalación de los pozos de monitoreo

Una vez establecido los pozos de monitoreo de calidad de agua se realizó perforaciones del suelo con un barreno metálico circular siguiendo un criterio hidrológico usualmente hasta una profundidad de 1.5 a 2.0 metros (en casos que hay poca turba la profundidad puede ser menor) (Tabla 3) donde se introdujo un tubo PVC de 2 pulgadas (5,08 centímetro de diámetro) donde permite facilitar el ingreso de los sensores y registrar los parámetros *in situ* del agua (Oyague, 2021).

Tabla 3

Profundidad de los pozos de monitoreo

Estación	Coordenadas		Profundidad (cm)
	Este	Norte	
PIT2-01	387684	8665733	146
PIT2-02	387750	8665795	150
PIT2-03	387809	8665776	150
PIT2-04	387892	8665727	150
PIT2-05	387757	8665693	84
PIT2-06	387742	8665970	150
PIT2-07	387679	8666003	142
PIT2-08	387709	8665924	67
PIT2-09	387645	8665942	35,5
PIT2-10	387607	8665884	85
PIT2-11	387473	8665972	68
PIT2-12	387521	8666005	150
PIT2-13	387562	8666048	150
PIT2-14	387442	8666135	95
PIT2-15	387358	8666126	45
PIT2-16	387398	8666052	150

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se cortó el tubo PVC de 2 pulgadas con una cierra de mano del tamaño profundo del pozo sobrepasando entre 10 a 14 centímetros de tal manera que sea visible, al mismo tiempo se realizó cortes a lo largo de toda su longitud entre 5 a 10 centímetros de distancia, con la finalidad que el nivel del agua se establezca similar a la que se encuentra en el subsuelo y tener un registro confiable (Oyague,2021). Posteriormente se realizó purgas en cada pozo con un bailer, en donde se sustrajo los sedimentos, quedando en mayor proporción el contenido de agua. Por último, se cubrió la parte superior del tubo PVC con una tapa rotulada en la parte inferior, indicando el número de pozo de monitoreo (Figura 6).



Figura 6. Instalaciones de pozos de monitoreo. *Fuente:* Elaboración propia.

En el segundo y tercer muestreo realizado en el mes de octubre y diciembre del 2017 se reinstalaron algunos pozos de monitoreo hidroquímico siguiendo los mismos procedimientos y ubicación, esto debido a que algunos pozos de monitoreo se extraviaron (Tabla 4 y 5).

Tabla 4

Reinstalación de pozos de monitoreo hidroquímico perdidos durante la temporada seca, octubre 2017

Estación	Coordenadas		Observaciones	Profundidad (cm)	Sobre la superficie (cm)
	Este	Norte			
PIT2-02	387750	8665795	Pozo sin tubo	100	14
PIT2-11	387473	8665972	Pozo sin tubo	72	10
PIT2-12	387521	8666005	Pozo sin tubo	112	10
PIT2-15	387358	8666126	Pozo sin tubo	43	11
PIT2-16	387398	8666052	Pozo sin tubo	73	11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Reinstalación de pozos de monitoreo hidroquímico perdidos durante la temporada de transición, diciembre 2017

Estación	Coordenadas		Observaciones	Profundidad (cm)	Sobre la superficie (cm)
	Este	Norte			
PIT2-08	387709	8665924	Pozo sin tubo	65	10
PIT2-10	387606	8665884	Pozo sin tubo	76	5

Fuente: Elaboración propia.

e. Toma de datos *in situ* y extracción de muestras de agua

Una vez instalado los pozos de monitoreo hidroquímico se esperó que los pozos tengan una cantidad de agua suficiente para la toma de datos *in situ* y la extracción de muestras para laboratorio (Choy, 2018). Los parámetros *in situ* fueron pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Para la toma de datos *in situ* se utilizó un equipo medidor multiparámetro portátil marca Hanna modelo HI 9813-6 (Apéndice 1) con porta sonda multisensor, la calibración se realizó en campo con los buffers estándar de pH y conductividad eléctrica respectivamente, de acuerdo con la sugerencia del fabricante (pH de 7,01 y conductividad eléctrica de $1\,413\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Una vez calibrado se introdujo el sensor del multiparámetro a cada pozo de monitoreo, donde automáticamente registró dichos resultados y fueron anotados en una libreta de campo (Figura 7).



Figura 7. Toma de datos *in situ* (pH, conductividad eléctrica y temperatura). *Fuente:* Elaboración propia.

De las 16 estaciones de monitoreo, adicionalmente en 10 de estas estaciones seleccionados al azar se extrajeron muestras de aguas para los análisis de los componentes químicos mayoritarios. Estas muestras se extrajeron succionando con una manguera cristal transparente PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada, extrayendo en cada estación 1 litro de muestra de agua (2 botellas de 0,5 litros). Se consideró el protocolo de monitoreo de agua subterránea (ver Apéndice 2) en la que previo al llenado de las muestras las botellas fueron rotuladas y lavadas

con el misma agua. Las muestras fueron refrigeradas en un coolers a una temperatura de 4 °C aproximadamente con el fin de mantenerlas conservadas hasta su traslado al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego en un tiempo de 24 horas aproximadamente. En el laboratorio, las muestras fueron registradas en una ficha de datos siguiendo sus respectivas cadenas de custodia (Apéndice 2).



Figura 8. Extracción de muestras de agua. Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Fase de laboratorio

Las muestras de aguas una vez llegado al laboratorio LASMAF fueron registrados con detalle en un formato físico, lo cual contenía información necesaria para realizar los análisis, así como: datos de su procedencia, fechas, tipos de análisis, números de muestras, entre otros (cadena de custodia), para este estudio se realizó un análisis completo de rutina (aniones, cationes, pH, conductividad eléctrica y boro) (Apéndice 3).

El Laboratorio de Análisis Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego (LASMAF), es una unidad académica y de servicio del departamento de Recursos Hídricos, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina dedicado a brindar servicios de ensayos de laboratorio (análisis físicoquímicos de agua, suelo, etc.).

En el laboratorio se utilizaron diferentes métodos para los análisis de los componentes químicos del agua que se presentan a continuación (Tabla 6).

Tabla 6

Métodos para análisis de componentes químicos del agua

Métodos	Equipos	Componentes físico-químicos
Método fotométrico, espectrométrico	Espectrofotómetro de absorción atómica	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ y K ⁺
Método espectrométrico	Espectrofotómetro de UV-visible y fluorescente	SO ₄ ⁼ , boro y fosfato
Método titulométrico	Buretas automáticas	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁼
Lecturas de pH y C.E.	Peachímetro y conductímetro	pH y C.E.

Fuente: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego [LASMAF], (2017)

2.6. Identificación de variables y su mensuración

Las variables hidroquímicos medidas en campo (*in situ*) y laboratorio (*ex situ*) fueron de manera cuantitativa y continúa considerando los parámetros *in situ* y componentes químicos mayoritarios (Tabla 7) que se muestran a continuación:

Tabla 7

Variables de investigación

	VARIABLES HIDROQUIMICOS	EQUIPOS	METODOLOGÍA
<i>In situ</i>	pH		Se midieron directamente en los 16 pozos de muestreo hidroquímico con el uso de un multiparámetro HANNA.
	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S. cm}^{-1}$)	Multiparámetro HANNA	
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
<i>Ex situ</i>	Cationes: Calcio, magnesio, sodio y potasio (mg. l^{-1})	Espectrofotómetro de absorción atómica, espectrofotómetro UV-visible y fluorescente, buretas automáticas.	Las muestras se recolectaron en 10 pozos de muestreo seleccionados al azar, dichas muestras fueron almacenados en envases de polietileno (1 L) para ser trasladado al laboratorio LAASMA para su respectivo análisis.
	Aniones: Bicarbonato, cloruro, sulfato y carbonato (mg. l^{-1})		

Fuente: Elaboración propia.

2.7. Análisis estadístico de datos

Se utilizó el software Arc Gis 10,6. para elaborar el mapa de localización y las estaciones de monitoreo del área de estudio, tomando en cuenta los datos de los puntos georreferenciados con un GPS Garmin.

La data se ordenó en el Microsoft Excel 2016 y se procesó el estadístico descriptivo donde se mostró un resumen de datos estadísticos de los parámetros *in situ* (pH, conductividad eléctrica y temperatura) y los componentes químicos mayoritarios (aniones y cationes), además se presentó los gráficos estadísticos presenciándose la variabilidad, resultados que fueron comparados con otras investigaciones. Para la validación de la hipótesis se utilizó las pruebas estadísticas de normalidad (datos paramétricos o no paramétricos), y la prueba de homogeneidad de varianzas (variabilidad de los datos).

H₂: La composición química del agua en el bofedal Piticocha sector 2 no varía significativamente con respecto al tiempo y espacio.

H₃: El agua en el bofedal Piticocha sector 2 es de tipo bicarbonatado-cálcico.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

La caracterización hidroquímica se desarrolló iniciando con el análisis del estadístico descriptivo de los parámetros *in situ* (pH, conductividad eléctrica y temperatura) tomando en cuenta el registro en los 16 pozos de monitoreo (Apéndice 4), al mismo tiempo se determinó su variabilidad temporal y espacial mediante gráficas y pruebas estadísticas (normalidad y anova). Posteriormente con los resultados del análisis del agua (Apéndice 5) se desarrolló el estadístico descriptivo para los componentes químicos mayoritarios (cationes: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ y aniones: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , CO_3^-), del mismo modo se determinó su variabilidad temporal y espacial mediante gráficas y pruebas estadísticas. Finalmente se identificó el tipo de agua mediante el diagrama de piper y gráficos de barras. Un punto importante para realizar los análisis de agua de los componentes químicos mayoritarios es convertir los valores de Meq/l a mg/l o ppm mediante la fórmula de conversión: $\text{mg.l}^{-1} = (\text{Meq.l}^{-1} * \text{peso molecular}) / \text{valencia}$, con la finalidad de comparar los valores con otros estudios realizados (Choy, 2018).

3.1. Variabilidad temporal y espacial de los parámetros *in situ* del agua, bofedal Piticocha sector 2

Los parámetros *in situ* del agua se registraron en 16 pozos de monitoreo hidroquímico con frecuencia bimestral involucrando la temporada seca (julio y octubre), temporada de transición (diciembre) y temporada húmeda (enero y marzo). Los análisis de variabilidad temporal y espacial se realizaron mediante el estadístico descriptivo y pruebas estadísticas (normalidad y anova).

a) Variabilidad temporal de los parámetros *in situ* del agua

En los análisis de los estadísticos descriptivos referente a los parámetros *in situ* del agua (pH, conductividad eléctrica y temperatura) muestra que la conductividad eléctrica alcanzó su máximo valor de $830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y su valor mínimo de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el mes de marzo. El pH presentó valores entre 6,1 y 8,5 y en cuanto a la temperatura del agua el valor mínimo fue de $7,3 \text{ }^\circ\text{C}$ en el mes de julio y el valor máximo de $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en el mes de diciembre (Tabla 8 y 9).

Tabla 8

Resultados de los estadísticos descriptivos de los parámetros in situ durante los meses de julio, octubre y diciembre, 2017

Parámetros	Julio - 2017						Octubre - 2017						Diciembre 2017			
	N	Rango	Promedio	Desv, Estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv, Estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv, Estándar	Mínimo	Máximo
pH	16,00	0,80	7,16	0,23	6,70	7,50	2,40	7,58	0,75	6,10	8,50	0,50	6,73	0,16	6,50	7,00
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	16,00	620,0	351,25	179,48	150,0	770,0	600,0	410,0	180,74	170,0	770,0	460,0	328,75	141,56	180,0	640,0
T ($^{\circ}\text{C}$)	16,00	4,90	9,07	1,40	7,30	12,20	3,30	8,70	1,02	7,60	10,90	1,40	11,74	0,41	11,10	12,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Resultados de los estadísticos descriptivos de los parámetros in situ, durante los meses de enero y marzo, 2018

Parámetros	Enero 2018						Marzo 2018					
	N	Rango	Promedio	Desv, Estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv, Estándar	Mínimo	Máximo	
Ph	16,00	1,20	7,44	0,30	6,80	8,00	0,90	6,89	0,26	6,60	7,50	
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	16,00	610,00	348,13	183,53	140,00	750,00	730,00	354,38	193,97	100,00	830,00	
T ($^{\circ}\text{C}$)	16,00	3,20	10,42	1,05	8,90	12,10	2,90	10,46	0,83	8,90	11,80	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, los gráficos muestran las variaciones temporales del pH, conductividad eléctrica y temperatura de las aguas subsuperficiales en el bofedal Piticocha sector 2, durante las temporadas de muestreo en los años 2017 y 2018.

La Figura 10 muestra la variación temporal del pH del agua. Los resultados muestran que el pH del agua alcanza la alcalinidad en todos los meses de muestreo, tomando valores máximos entre 7,50 y 8,50; asimismo, presenta aguas moderadamente ácidas alcanzando valores entre 6,10 y 6,80.

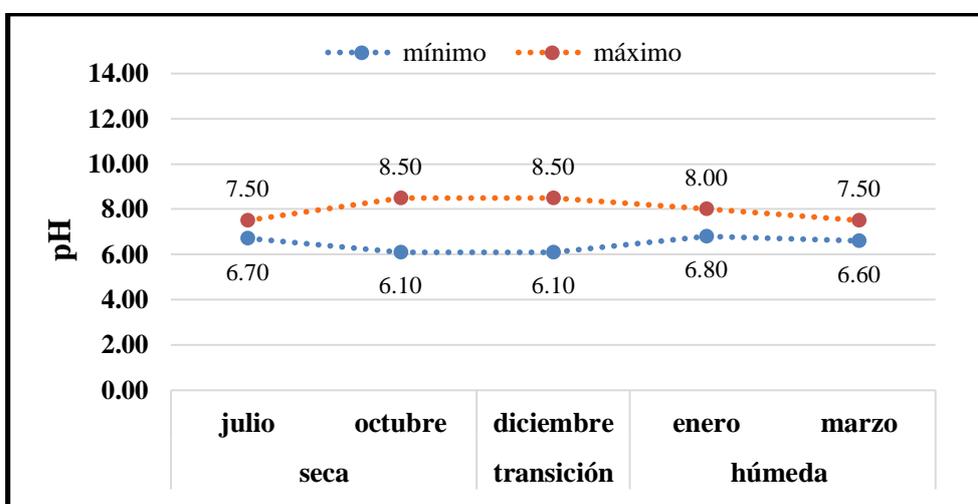


Figura 10. Variación temporal del pH. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra la variación temporal de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) del agua. De los resultados obtenidos se observa moderado contenido de sales que oscila entre $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ hasta $830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La conductividad eléctrica muestra un aumento durante la temporada seca alcanzando valores de $770 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, mientras que comienza a disminuir en la temporada de transición hasta $640 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y muestra cierto aumento durante la temporada húmeda alcanzando valores máximos entre 750 y $830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y valores mínimos entre 100 y $140 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

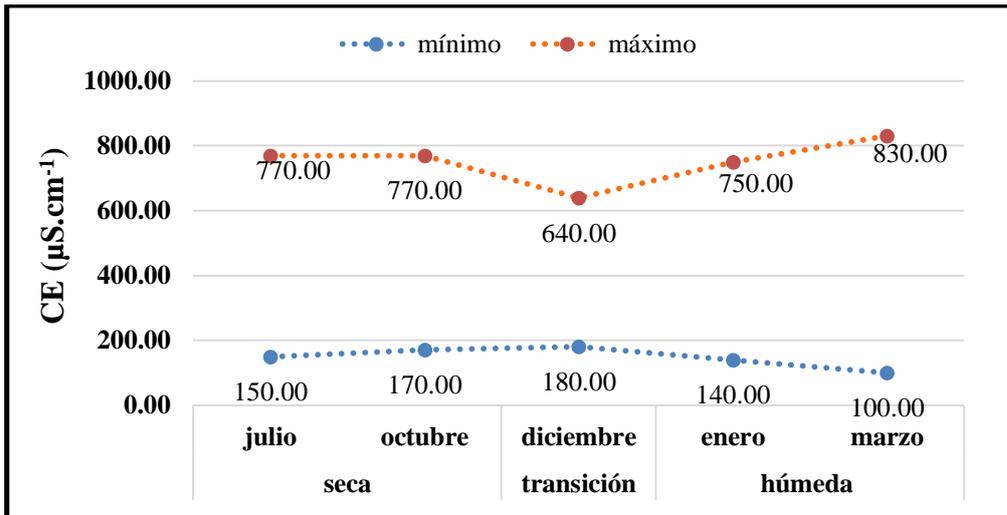


Figura 11. Variación temporal de la conductividad eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 muestra la variación temporal de la temperatura del agua. En los resultados de temperatura no hay mucha variación, presentando valores máximos de 12,50 en la temporada de transición y un valor mínimo de 7,30 durante la temporada seca.

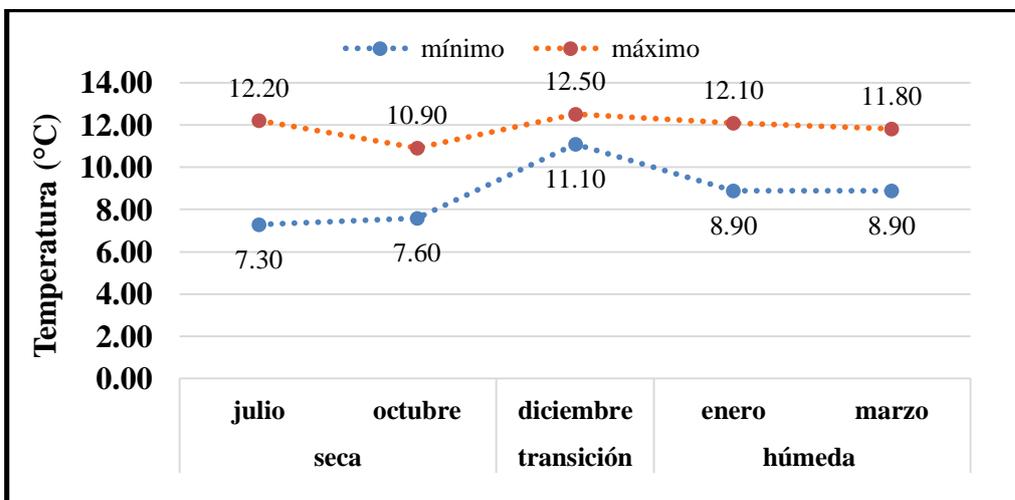


Figura 12. Variación temporal de temperatura (° C). Fuente: Elaboración propia

b) Variabilidad espacial de los parámetros *in situ* del agua

La variabilidad espacial de los parámetros *in situ* se evaluó tomando en cuenta las estaciones de monitoreo, para este caso se calcularon los valores mínimos y máximos de los parámetros *in situ* en cada estación de monitoreo (Tabla 12) y se procedió a representarlo gráficamente.

Tabla 10

Resultados de los parámetros in situ por cada estación de monitoreo

Parámetros <i>in situ</i>	Estaciones de monitoreo																
	Pit2-01	Pit2-02	Pit2-03	Pit2-04	Pit2-05	Pit2-06	Pit2-07	Pit2-08	Pit2-09	Pit2-10	Pit2-11	Pit2-12	Pit2-13	Pit2-14	Pit2-15	Pit2-16	
Ph	Mín	6,7	6,6	6,9	6,4	6,8	6,7	6,5	6,6	6,7	6,6	6,3	6,6	6,7	6,8	6,1	6,6
	Máx	7,5	7,8	7,5	7,5	7,6	7,6	8,4	8,0	8,0	8,2	6,9	8,2	8,0	8,5	7,3	7,8
CE	Mín	160,0	100,0	210,0	180,0	220,0	260,0	330,0	160,0	400,0	150,0	520,0	250,0	320,0	250,0	290,0	180,0
	Máx	200,0	510,0	430,0	310,0	290,0	460,0	770,0	200,0	610,0	320,0	830,0	300,0	620,0	630,0	650,0	440,0
T	Mín	7,3	8,6	8,7	9,3	9,3	7,9	7,6	7,8	7,6	7,9	8,0	8,3	8,0	7,9	7,5	7,7
	Máx	11,4	12,1	11,4	12,1	12,5	11,1	11,6	12,2	12,2	11,9	11,1	12,1	11,9	11,6	11,9	11,6

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes gráficos muestran las variaciones espaciales del pH, conductividad eléctrica y temperatura de las aguas subsuperficiales en el bofedal Piticocha sector 2, durante las temporadas de muestreo en los años 2017 y 2018.

La Figura 13 muestra las variaciones espaciales del pH del agua por cada estación de muestreo. El pH del agua en los pozos de monitoreo no muestra mucha variación tomando valores desde pH ligeramente ácidos (pH=6,1 a pH=6,9) hasta pH ligeramente alcalinos (pH=7,3 a pH=8,4)

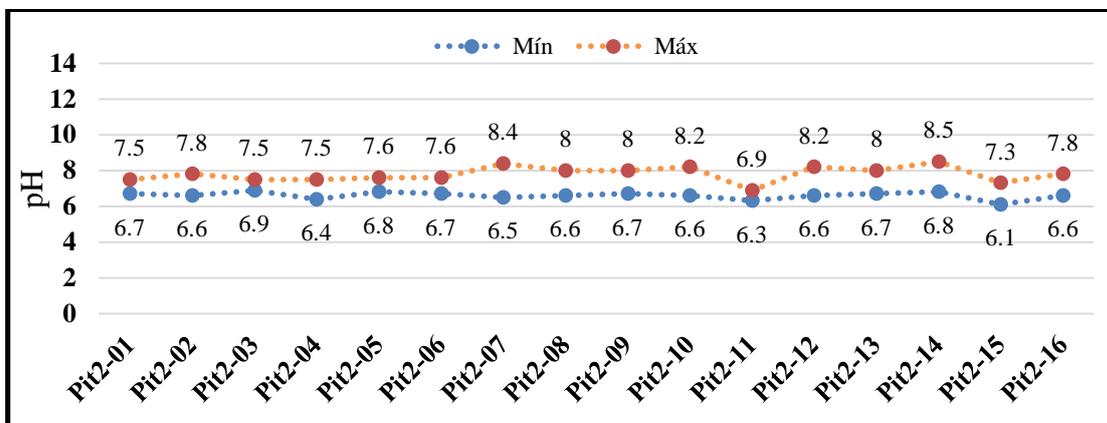


Figura 13. Variación espacial del pH del agua. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra la variación espacial de la conductividad eléctrica del agua por cada estación de muestreo. La conductividad eléctrica del agua presenta moderado contenido de sales, en tanto que existe variaciones en torno a las estaciones de monitoreo, valores máximos alcanzados en los pozos de monitoreo Pit2-7 ($770 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y Pit2-11 ($830,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), asimismo el valor mínimo presente es en el pozo Pit2-2 ($100,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

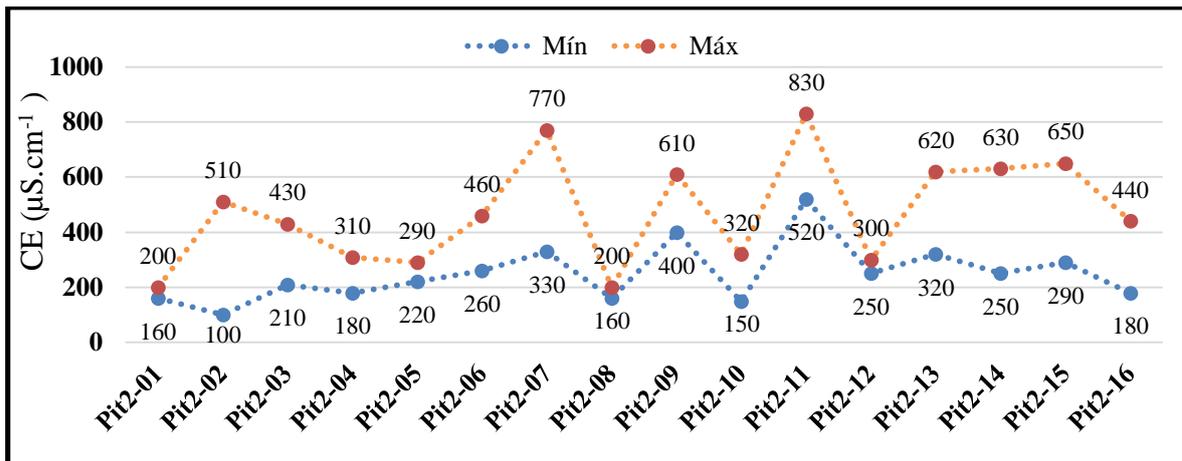


Figura 14. Variación espacial de la conductividad eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra la variación espacial de la temperatura del agua. La temperatura del agua no presenta mucha variación, siendo el valor mínimo 7,3 °C (Pit2-1), y el valor máximo 12,5 °C (Pit2-5).

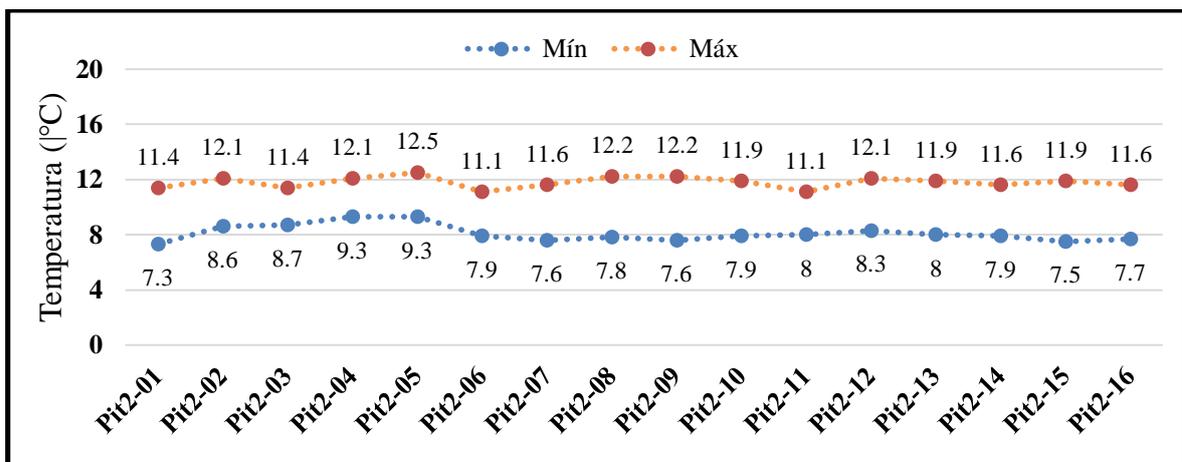


Figura 15. Variación espacial de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

c) **Validando hipótesis científica H_1 para la variabilidad temporal y espacial de los parámetros *in situ***

Los datos cumplen con ser paramétricos porque tienden a la normalidad ya que el nivel de significación en su mayoría es mayor a 0,05 (Tabla 11), además no son variables categóricas y el número muestra abarca 80 datos realizados en cinco temporadas. Los datos tienden a una distribución normal porque la media y mediana presentan valores iguales muy cercanos

a la moda y la asimetría tiende a cero (Apéndice 6); además muestra parábola muy similar a una curva de distribución normal (Apéndice 7) y el R es bastante alto.

Tabla 11

Prueba de normalidad de los parámetros in situ

Kolmogorov-Smirnov ^a			
Parámetros <i>in situ</i>	Estadístico	gl	Sig.
pH del agua	0,098	80	0,057
CE del agua	0,177	80	0,000
T del agua	0,089	80	0,188

Fuente: Elaboración propia

Para reconocer la variabilidad de los parámetros *in situ* se realizó el análisis de varianza, en donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H1. Los parámetros *in situ* del agua en el bofedal Piticocha sector 2 no tiene variabilidad significativa en cuanto al tiempo y espacio.

Ho. Los parámetros *in situ* del agua en el bofedal Piticocha sector 2 tiene variabilidad significativa en cuanto al tiempo y espacio.

Para llevar a cabo el análisis de varianza de los parámetros *in situ* se analizaron variable por variable de manera general (abarcando todas las temporadas de muestreo), iniciando con la variable pH en el cuál estadísticamente se afirma que tiene variación, por lo que cambia a lo largo del tiempo y espacio.

Analizando estadísticamente la variación de la media (ANOVA) se tiene:

Ho: El promedio de los datos son iguales, no existe varianza.

Ha: El promedio de los datos no son iguales, por lo que existe varianza (en al menos en uno de los datos).

En el análisis temporal y espacial del pH (Tabla 12 y 13) se observa que $p < F$, entonces se rechaza H_0 . donde se afirma que los promedios de los datos no son iguales, por lo que existe varianza en el valor del pH a lo largo del tiempo y del espacio.

Análisis temporal de pH

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de pH

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Fechas	4	8,203	2,0507	12,93	0,0000000467 ***
residuales	75	11,892	0,1586		

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Análisis espacial de pH

Tabla 13

Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso del pH

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Punto de monitoreo	15	3,276	0,2184	0,831	0,641
residuales	64	16,82	0,2628		

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, en el caso del análisis espacial (Tabla 13) la diferencia entre el $p < F$ es bastante baja, por lo que para tener una certeza de la información obtenida realizamos un análisis de varianza de medias, el cual se realiza mediante análisis de homogeneidad de varianza. Por lo tanto, para realizar el análisis de homogeneidad de varianza se postula también con dos hipótesis estadísticas:

H_0 : las varianzas de las pruebas experimentales son homogéneas.

H_a : las varianzas de las pruebas experimentales no son homogéneas

Luego de procesar la información se tiene lo siguiente:

➤ Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

Datos: pH por puntos de monitoreo

Bartlett's K-squared = 10,397, df = 15, p-valor = 0,7941

En el presente análisis, se observa que p valor es mayor a 0,05, entonces se acepta H_0 , por lo que se afirma que las varianzas de las pruebas experimentales son homogéneas, con ello podemos concluir afirmando que la composición química del agua en el bofedal Piticocha sector 2 no varía significativamente respecto al pH, al menos respecto al punto de monitoreo. Con lo cual se afirma que el pH tiene variación temporal pero no espacial.

Sucesivamente se analizó la variable conductividad eléctrica, en donde también postulamos las hipótesis estadísticas anteriores:

H_0 : El promedio de los datos son iguales, no existe varianza.

H_a : El promedio de los datos no son iguales, por lo que existe varianza (en al menos en uno de los datos).

En el análisis temporal (Tabla 14) se observa $p > F$, entonces se acepta H_0 . En cambio, es lo contrario en el análisis espacial (Tabla 15), dado que el $p < F$, por lo que se rechaza H_0 . Entonces concluimos que la conductividad eléctrica no presenta variación temporal, pero si existe variación respecto a los puntos de monitoreo.

Análisis temporal de CE

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Fechas	4	59432	14858	0,476	0,754
residuales	75	2343388	31245		

Fuente: Elaboración propia

Análisis espacial de CE

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso de CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Punto de monitoreo	15	1650340	110023	9,358	4,62e-11 ***
residual	64	752480	11757		

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Finalmente se analizó la variable temperatura ($^{\circ}\text{C}$), donde también se postula con las hipótesis estadísticas para la variación de la media ANOVA.

Ho: El promedio de los datos son iguales, no existe varianza.

Ha: El promedio de los datos no son iguales, por lo que existe varianza (en al menos en uno de los datos).

En el análisis estadístico de temperatura se observa que en el análisis temporal (Tabla 16) $p < F$, entonces se rechaza Ho (con variación temporal) y un $p > F$ como análisis espacial (Tabla 17), entonces se acepta Ho sin variación espacial.

Análisis temporal de temperatura

Tabla 16

Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de temperatura

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Fechas	4	94,89	23,72	23,97	8,53e-13 ***
residuales	75	74,22	0,99		

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Análisis espacial de temperatura

Tabla 17

Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso de temperatura

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Punto de monitoreo	15	14,8	0,9867	0,409	0,971
residuales	64	154,3	2,411		

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, de la variabilidad de los parámetros *in situ* se observa que el parámetro conductividad eléctrica varía significativamente en forma espacial, pero no temporal; a diferencia de la temperatura y el pH, tiene una variación temporal, pero no varían espacialmente, con lo que aceptamos H_0 , afirmando que los parámetros *in situ* del agua en el bofedal Piticocha sector 2 tiene variabilidad significativa en cuanto al tiempo y espacio.

3.2. Variabilidad temporal y espacial de los componentes químicos mayoritarios

Los resultados de la composición química del agua se obtuvieron de 10 estaciones de monitoreo seleccionados al azar en los 5 meses de muestreo abarcando la temporada seca, temporada de transición y húmeda a partir de los cuales se avaluó su variabilidad temporal y espacial.

a. Variabilidad temporal de los componentes químicos mayoritarios

Para determinar la variabilidad temporal de la composición química del agua se procedió realizar los estadísticos descriptivos por cada mes de muestreo (Tabla 18 y 19). A partir de los resultados se representó gráficamente y se describió el comportamiento de cada ión.

Tabla 18

Estadísticos descriptivos de los componentes químicos mayoritarios (mg.l⁻¹), en los meses de julio, octubre y diciembre-2017

Iones	N	Julio 2017					Octubre 2017					Diciembre 2017				
		Rango	Prom.	Desv. Estándar	Mín.	Máx.	Rango	Prom.	Desv. Estándar	Mín.	Máx.	Rango	Prom.	Desv. Estándar	Mín.	Máx.
Ca ⁺⁺	10,00	78,00	72,00	29,00	33,06	110,21	107,61	66,39	33,45	12,62	120,23	144,28	78,43	37,22	24,05	168,33
Mg ⁺⁺	10,00	10,00	8,94	2,91	3,04	12,27	8,63	6,67	2,72	3,28	11,91	9,97	8,26	3,83	3,16	13,12
Na ⁺	10,00	32,00	15,18	8,77	4,58	35,72	18,61	14,38	6,15	7,73	26,34	41,45	26,59	19,17	5,95	47,40
K ⁺	10,00	17,00	3,78	4,96	0,39	16,42	3,91	1,37	1,11	0,00	3,91	11,73	2,50	3,51	0,39	12,12
HCO ₃ ⁻	10,00	382,00	246,26	119,51	3,66	385,04	308,15	221,90	96,66	72,61	380,76	495,48	324,93	133,95	90,92	586,40
SO ₄ ⁼	10,00	25,00	19,04	16,46	4,80	56,20	12,01	4,51	4,06	0,48	12,49	12,01	5,24	4,46	0,96	12,97
Cl ⁻	10,00	25,00	13,63	7,45	6,38	30,50	70,03	25,71	20,26	8,33	78,37	15,96	12,80	5,01	6,38	22,34
NO ₃ ⁻	10,00	1,00	0,08	0,25	0,00	0,78	5,58	1,75	1,73	0,00	5,58	4,34	0,74	1,60	0,00	4,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Estadísticos descriptivos de los componentes químicos mayoritarios (mg.l⁻¹), en los meses de enero y marzo-2018

Iones	N	Enero 2018					Marzo 2018				
		Rango	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
Ca ⁺⁺	10,00	71,14	67,99	26,35	36,07	107,21	121,64	60,03	37,29	8,62	130,25
Mg ⁺⁺	10,00	17,14	6,81	4,96	3,16	20,29	13,61	8,31	4,85	3,28	16,89
Na ⁺	10,00	13,05	5,68	5,07	0,23	13,28	14,14	8,10	4,16	2,75	2,75
K ⁺	10,00	9,77	2,66	2,94	0,39	0,39	16,81	2,77	5,11	0,39	17,20
HCO ₃ ⁻	10,00	359,41	314,01	95,58	133,63	493,04	435,68	221,15	142,74	56,75	492,43
SO ₄ ⁼	10,00	14,89	5,09	4,37	0,96	15,85	9,13	5,00	3,06	0,96	10,09
Cl ⁻	10,00	26,24	11,63	8,01	4,26	30,50	10,28	9,02	2,81	3,90	14,18
NO ₃ ⁻	10,00	0,62	0,06	0,20	0,00	0,62	2,48	0,91	0,94	0,00	2,48

Fuente: Elaboración propia

A continuación, los gráficos muestran las variaciones temporales de los componentes químicos mayoritarios del agua subsuperficial (aniones y cationes) en el bofedal Piticocha sector 2, durante las temporadas de muestreo en los años 2017 y 2018.

La Figura 16 muestra la variación temporal de concentraciones del ión calcio. A medida que transcurre la temporada seca hacia la temporada de transición las concentraciones del ión calcio va en ascenso obteniendo un valor máximo de 168,33 mg.l⁻¹, mientras que durante la temporada húmeda las concentraciones van disminuyendo registrando el mínimo valor en el mes de marzo de 8,62 mg.l⁻¹. Aunque las variaciones son mínimas pero se presencia que las mayores concentraciones se presenta durante la época seca

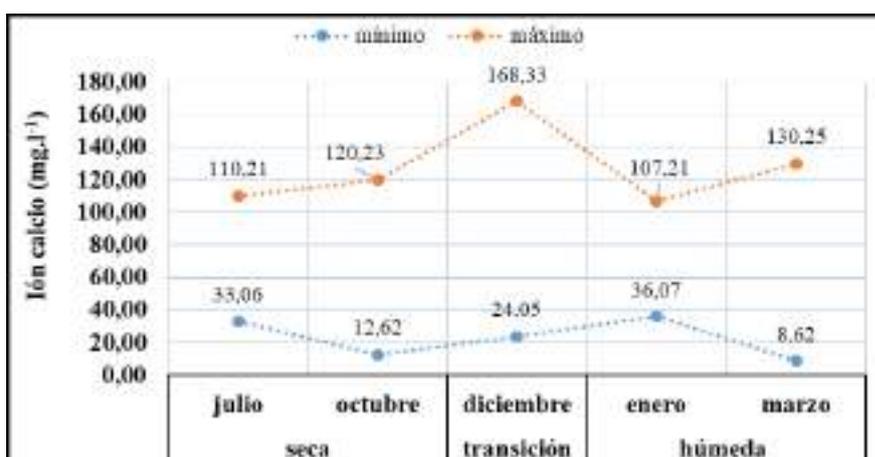


Figura 16. Variabilidad temporal del ión calcio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra la variación temporal de concentraciones del ión magnesio. Sus concentraciones son menores que del calcio pues presenta un valor mínimo de 3,04 mg.l⁻¹ durante la temporada seca y un valor máximo de 20,29 mg.l⁻¹ durante la temporada húmeda. Es peculiar observar que el ión magnesio tiene un comportamiento contrario al ión calcio ya que en vez de disminuir sus concentraciones durante la época húmeda estos aumentan, aunque no se presenta elevada variación.

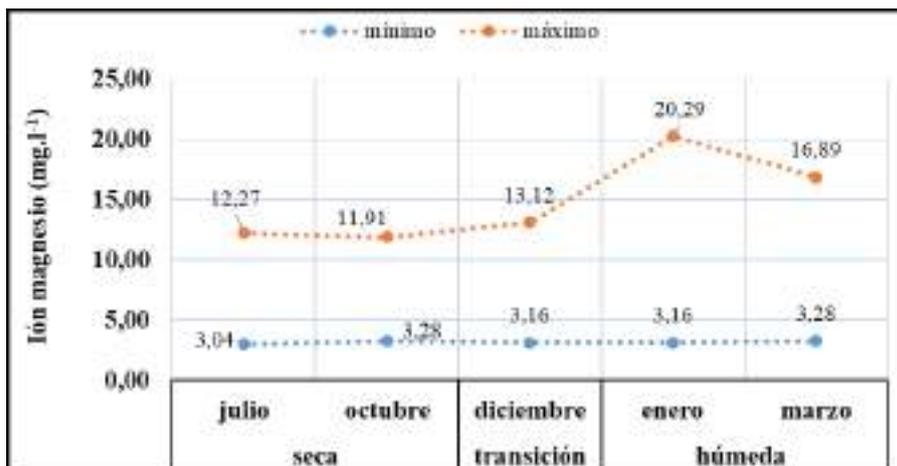


Figura 17. Variabilidad temporal del ión magnesio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 18 muestra la variación temporal de concentraciones del ión sodio. La concentración del ión sodio tiende a tener cierta disminución durante la temporada seca tomando valores entre 35,72 mg.l⁻¹ a 26,33 mg.l⁻¹, aunque aumenta en el transcurso de la temporada de transición hasta 47,40 mg.l⁻¹, posteriormente tiende a disminuir notablemente en la temporada húmeda hasta 2,74 mg.l⁻¹.

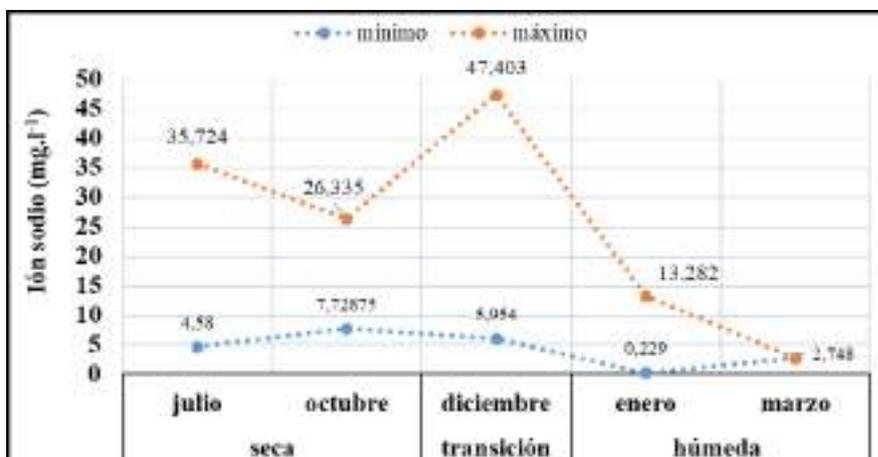


Figura 18. Variabilidad temporal del ión sodio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19 muestra la variación temporal de concentraciones del ion potasio. El ion potasio presenta concentraciones muy bajas y son similares durante la época seca y húmeda. tomando valor máximo de 17,20 mg.l⁻¹ y valor mínimos de 0 mg.l⁻¹ es decir que en algunos meses el ión potasio se pierde.

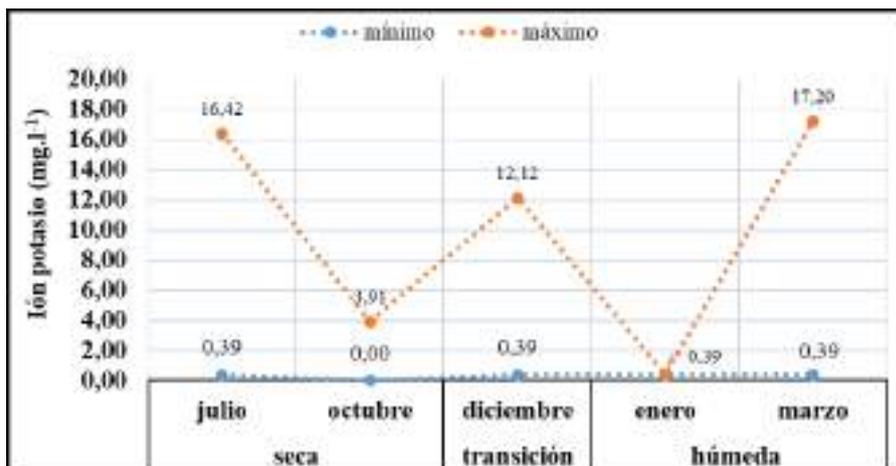


Figura 19. Variabilidad temporal del ión potasio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 muestra la variación temporal de concentraciones del ion bicarbonato. La concentración del ion bicarbonato es casi constante, aunque se muestra un aumento a medida que transcurre la temporada seca hasta la temporada de transición alcanzando valores máximos hasta 586,40 mg.l⁻¹ mientras que al pasar a la época húmeda se presencia moderada disminución encontrando valores máximos de 493,04 mg.l⁻¹ y 492,04 mg.l⁻¹ y valores que disminuyen hasta 56,75 mg.l⁻¹

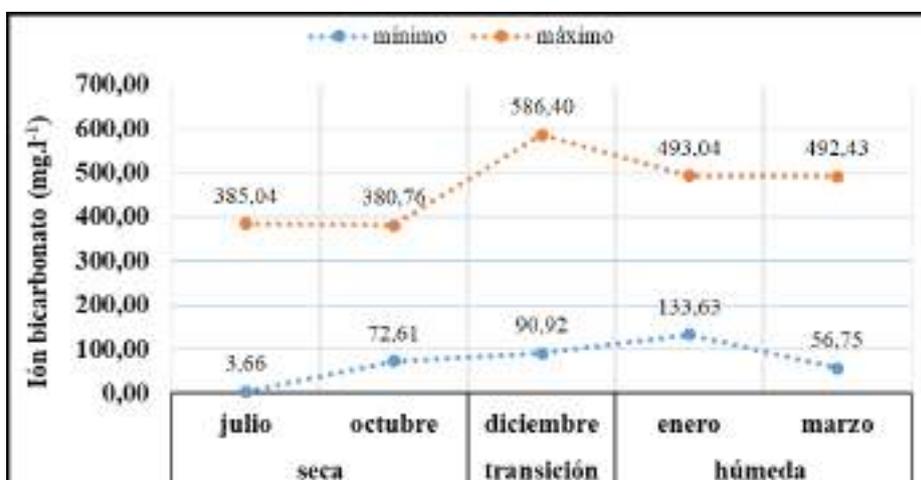


Figura 20. Variación temporal del ión bicarbonato. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 muestra la variación temporal de concentraciones del ion sulfato. La concentración del ion sulfato presenta cierta variabilidad, presentando su máxima concentración en la temporada seca de 56,20 mg.l⁻¹ donde va disminuyendo al acercarse la temporada húmeda, las concentraciones disminuyen hasta 0,48 mg.l⁻¹.

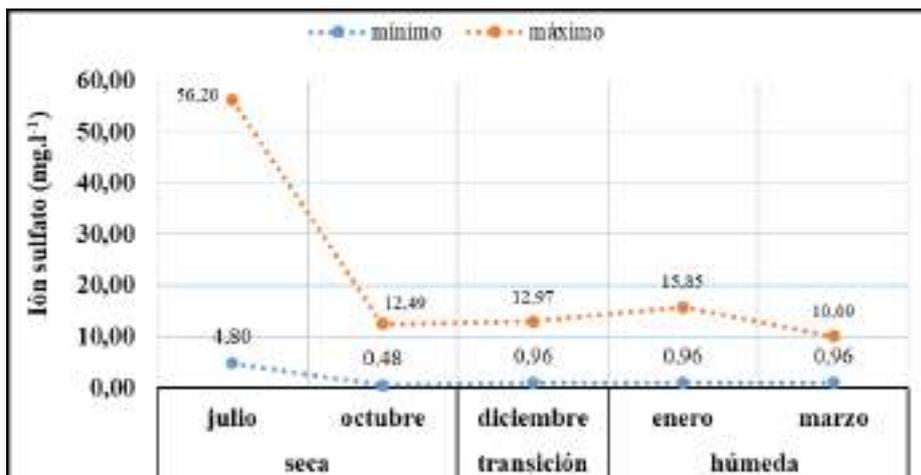


Figura 21. Variación temporal del ión sulfato. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 22 muestra la variación temporal de concentraciones del ion cloruro. La concentración del ion cloruro oscila entre 3,90 mg.l⁻¹ y 78,37 mg.l⁻¹, concentración que aumentan durante la temporada seca (70,03 mg.l⁻¹ y 78,37 mg.l⁻¹) y disminuyen durante la temporada húmeda tomando un valor máximo de 30,50 mg.l⁻¹ y un valor mínimo de 3,80 mg.l⁻¹

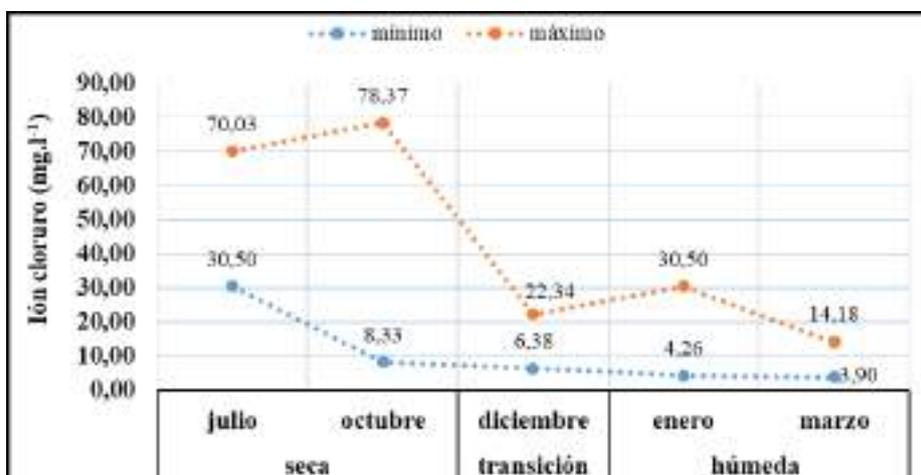


Figura 22. Variación temporal del ión cloruro. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 23 muestra la variación temporal de concentraciones del ion nitrato. La concentración del ion nitrato es mínimo, pero no deja de ser importante, concentraciones que aumenta en la temporada seca y disminuye en la temporada húmeda, alcanzando un valor máximo hasta 5,58 mg.l⁻¹ y un valor mínimo de 0,62 mg.l⁻¹

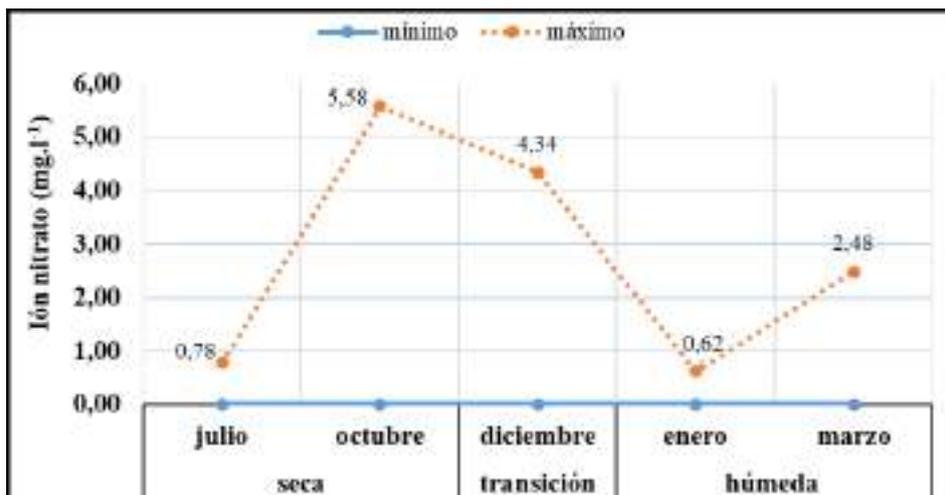


Figura 23. Variación temporal del ión nitrato. Fuente: Elaboración propia.

b. Variabilidad espacial de los componentes químicos mayoritarios

La variabilidad espacial de los componentes químicos mayoritarios se evaluó tomando en cuenta los valores mínimos y máximos por cada estación de monitoreo (Tabla 21) y se procedió a representarlo gráficamente.

Tabla 20

Componentes químicos mayoritarios en las estaciones de monitoreo

Iones mayoritarios		Estaciones de monitoreo									
		Pit2-2	Pit2-4	Pit2-5	Pit2-6	Pit2-7	Pit2-9	Pit2-11	Pit2-13	Pit2-15	Pit2-16
Ca ⁺⁺	Mínimo	8,62	12,62	34,67	54,91	59,12	36,07	54,71	59,12	58,91	27,65
	Máximo	95,39	41,48	82,76	88,97	100,20	120,23	168,33	98,59	110,21	107,21
Mg ⁺⁺	Mínimo	4,01	3,16	5,23	5,47	6,81	6,56	4,74	4,86	3,16	3,04
	Máximo	11,06	5,23	12,27	8,02	16,28	10,57	20,29	12,27	10,94	4,86
Na ⁺	Mínimo	5,95	2,98	3,21	5,73	10,53	5,95	0,23	1,15	0,23	0,69
	Máximo	42,82	35,72	43,74	9,39	47,40	12,37	10,99	45,80	43,74	15,11
K ⁺	Mínimo	0,78	0,39	0,39	0,39	0,78	0,78	0,00	1,17	1,56	1,56
	Máximo	4,30	12,31	1,17	1,17	1,17	17,20	16,42	4,30	7,82	3,13
HCO ₃ ⁻	Mínimo	56,75	3,66	112,89	198,93	214,79	289,85	137,91	220,89	214,79	95,80
	Máximo	322,80	133,63	394,19	324,02	396,63	329,51	586,40	380,76	360,63	302,66
SO ₄ ⁼	Mínimo	0,48	0,96	1,44	1,44	2,40	0,96	6,24	3,84	0,96	0,48
	Máximo	36,98	12,49	15,85	7,68	10,09	4,80	17,29	25,46	56,20	15,85
Cl ⁻	Mínimo	3,90	6,38	6,38	4,26	6,03	5,67	8,51	8,16	8,87	6,38
	Máximo	30,50	21,28	13,83	10,99	14,18	78,37	29,43	16,67	30,50	20,57
NO ₃ ⁻	Mínimo	3,90	6,38	6,38	4,26	6,03	5,67	8,51	8,16	8,87	6,38
	Máximo	30,50	21,28	13,83	10,99	14,18	78,37	29,43	16,67	30,50	20,57

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes gráficos muestran las variaciones espaciales de los componentes químicos mayoritarios de las aguas subsuperficiales en el bofedal Piticocha sector 2, durante las temporadas de muestreo en los años 2017 y 2018.

La Figura 24 muestra la variación espacial de concentraciones del ión calcio. El ión calcio presenta moderada variabilidad en cuanto a las estaciones de monitoreo, presentando su mínima concentración en la estación Pit2-02 (8,62 mg.l⁻¹) y su máxima concentración en la estación Pit2-11 (168,33 mg.l⁻¹). La estación de monitoreo Pit2-02 se ubicó muy alejado a la laguna se podría decir con escaso contenido de agua a comparación con el pozo de monitoreo Pit2-11 que se encontró muy cercano a la laguna.

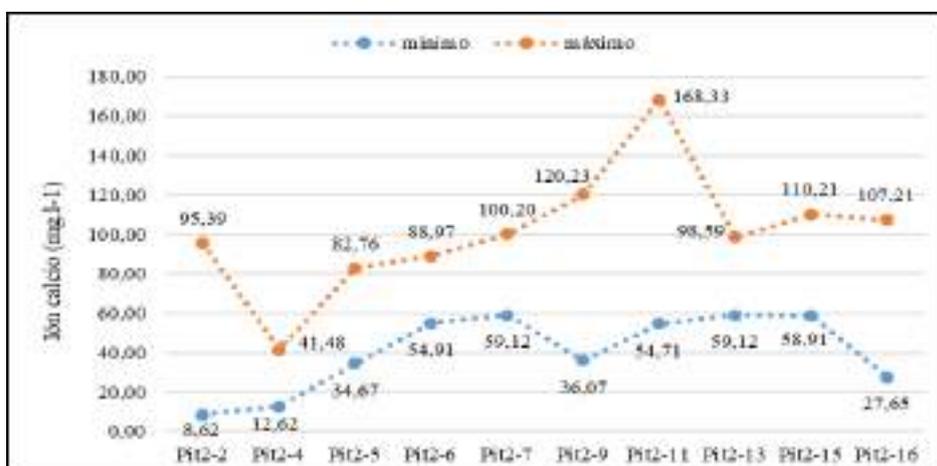


Figura 24. Variabilidad espacial del ión calcio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 25 muestra la variación espacial de concentraciones del ion magnesio. La concentración del ion magnesio presenta moderada variabilidad en cuanto a las estaciones de monitoreo hidroquímico, presentando su mínima concentración en la estación Pit2-16 (3,04 mg.l⁻¹) y su máxima concentración en la estación Pit2-11 (20,29 mg.l⁻¹).

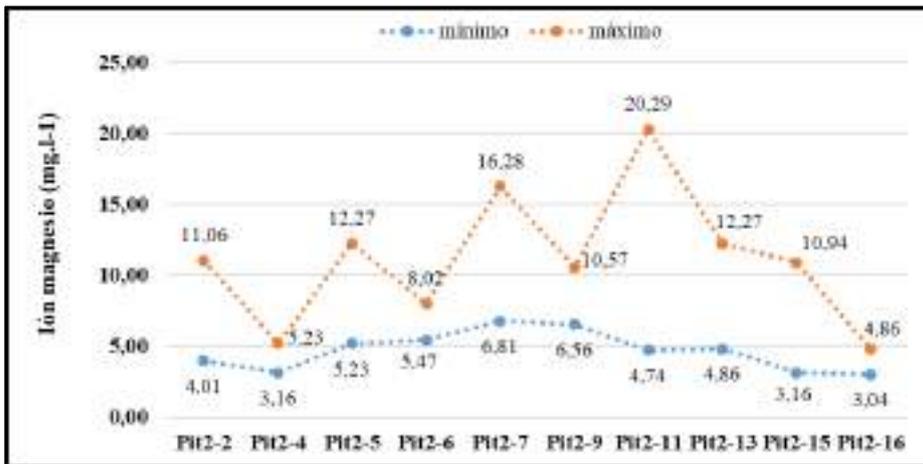


Figura 25. Variabilidad espacial del ión magnesio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 26 muestra la variación espacial de concentraciones del ión sodio. La concentración del ion sodio presenta moderada variabilidad en cuanto a las estaciones de monitoreo hidroquímicos, presentando su mínima concentración en la estación Pit2-11 (0,23 mg.L⁻¹) y su máxima concentración en la estación Pit2-04 (47,40 mg.L⁻¹).

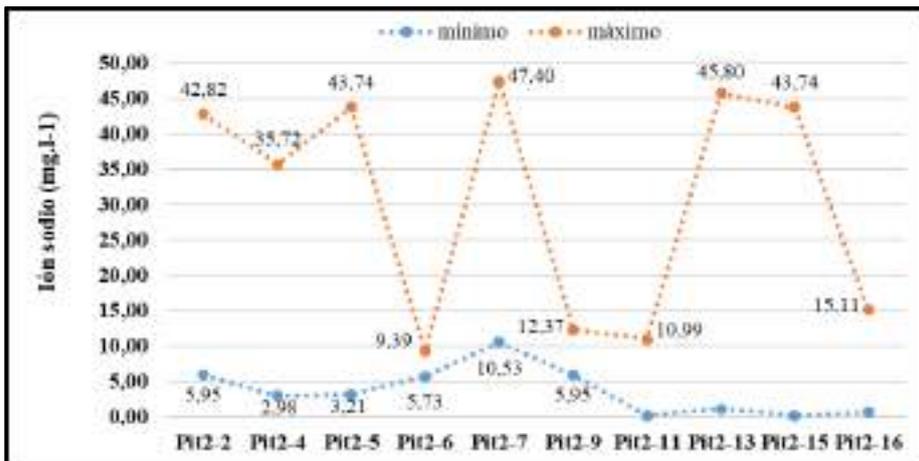


Figura 26. Variabilidad espacial del ión sodio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 muestra la variación espacial de concentraciones del ión potasio. La concentración del ion potasio presenta variabilidad en cuanto a las estaciones de monitoreo, presentando su mínima concentración en la estación Pit2-05, Pit2-06 y Pit2-07 (1,17 mg.L⁻¹) y su máxima concentración en la estación Pit2-9 (17,20 mg.L⁻¹).

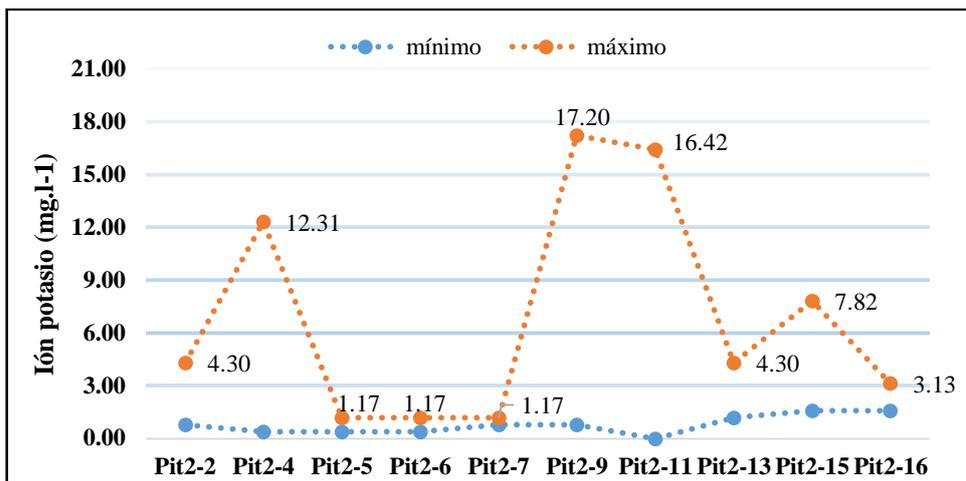


Figura 27. Variabilidad espacial del ión potasio. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 28 muestra la variación espacial de concentraciones del ión bicarbonato. La concentración del ion bicarbonato presenta variabilidad en cuanto a las estaciones de monitoreo y es la que tiene concentraciones más altas a comparación de los demás iones, presentando su mínima concentración en la estación Pit2-04 (3,66 mg.l⁻¹) y su máxima concentración en la estación Pit2-11 (586,40 mg.l⁻¹).

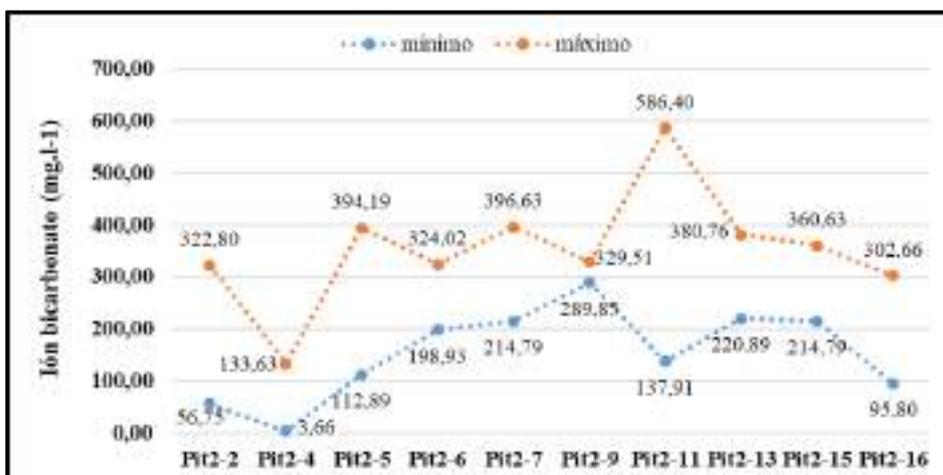


Figura 28. Variación espacial del ión bicarbonato. Fuente: Elaboración propia.

c. Validando hipótesis científica H₂ para la variabilidad temporal y espacial de los componentes químicos mayoritarios

Los datos de los componentes químicos mayoritarios cumplen con ser paramétricos ya que tienden a la normalidad de modo que el nivel de significación en su mayoría es mayor a 0,05 (Tabla 21), el número muestra abarca 50 datos realizados en cinco temporadas. Los datos

tienden a una distribución normal y la asimetría tiende a cero (Apéndice 8); además en los histogramas nos presenta una curva muy similar a una curva de distribución normal (Apéndice 9).

Tabla 21

Prueba de normalidad de los componentes químicos mayoritarios

Kolmogorov-Smirnov ^a			
Componentes mayoritarios	Estadístico	gl	Sig.
Calcio	0,108	50	0,200*
Magnesio	0,114	50	0,104
Bicarbonato	0,083	50	0,200*
Sulfato	0,226	50	0,000

Fuente: Elaboración propia

Para validar la variabilidad de la composición química del agua en base a sus componentes mayoritarios se realizó el análisis de varianza, en donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H1. La composición química del agua en el bofedal Piticocha sector 2 no varía significativamente con respecto al tiempo y espacio.

Ho. La composición química del agua en el bofedal Piticocha sector 2 varía significativamente con respecto al tiempo y espacio.

Analizando la variación temporal y espacial de los cationes y aniones

Utilizando el programa estadístico R se postula a realizar un análisis de la variable concentración (la cuál estadísticamente afirmamos que sí existe variación, por lo que su concentración cambia a lo largo del tiempo y espacio), para lo cual se va a analizar estadísticamente la variación de la media, donde se plantea las siguientes hipótesis:

Ho: El promedio de los datos son iguales, no existe varianza.

Ha: El promedio de los datos no son iguales, por lo que existe varianza (en al menos en uno de los datos).

En el análisis temporal y espacial (Tabla 22 y 23) se observa que $p < F$, entonces se rechaza H_0 , por lo que afirmamos que el promedio de los datos no es igual, en consecuencia, existe varianza en cuanto a las concentraciones de iones muestreados de manera temporal y espacial.

Análisis temporal de los componentes químicos mayoritarios

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) temporalmente, para el caso de los componentes químicos mayoritarios (aniones y cationes)

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Iones residuales	7	278221	39746	45,09	8,45e-15 ***
	32	28207	881		

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Análisis espacial de la composición química del agua

Tabla 23

Análisis de varianza (ANOVA) espacialmente, para el caso los componentes mayoritarios (aniones y cationes)

	Df	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	Pr (>F)
Iones residuales	7	556441	79492	60,85	<2e-16 ***
	72	94055	1306		

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Como el valor de p tiende a Cero, ya no es necesario analizar la homogeneidad de varianzas, con lo cual podemos concluir afirmando que la composición química del agua en el bofedal Piticocha sector 2 varía significativamente en su concentración temporal y espacialmente, validando H_0 .

3.3. Tipo de agua en el bofedal Piticocha sector 2

La Figura 29 muestra el tipo de agua en la primera evaluación del mes de julio, 2017. En el diagrama de Piper se observa la aglomeración de los puntos en el lado del tipo cálcico, alcanzando un porcentaje mínimo de 29 % y máximo 46 %; algo peculiar sucede en el pozo Pit2-4, donde se muestra un elevado contenido de sodio (37 %) a comparación de otros pozos de monitoreo que las concentraciones de sodio, magnesio y potasio son bajas. En cuanto a los triángulos de aniones se observa la aglomeración de los puntos en lado de tipo bicarbonatado, alcanzando porcentaje mínimo de 35 % y máximo de 46 % (Figura 30); excepto el pozo de monitoreo Pit2-4 (1 %) que se aleja del grupo, y el anión que se representa este punto es el sulfato y cloruro en un 6 %. En el rombo del diagrama de Piper se puede apreciar que todos los pozos de monitoreo se encuentran aglomerados en la parte de tipo bicarbonatados cálcicos (99 %), excepto el pozo Pit2-4 que se aleja del grupo presentando cierto contenido de sulfato y cloruro, lo que indica que es un agua de tipo sulfatada cálcica sódica y/o clorurada cálcica sódica (1 %).

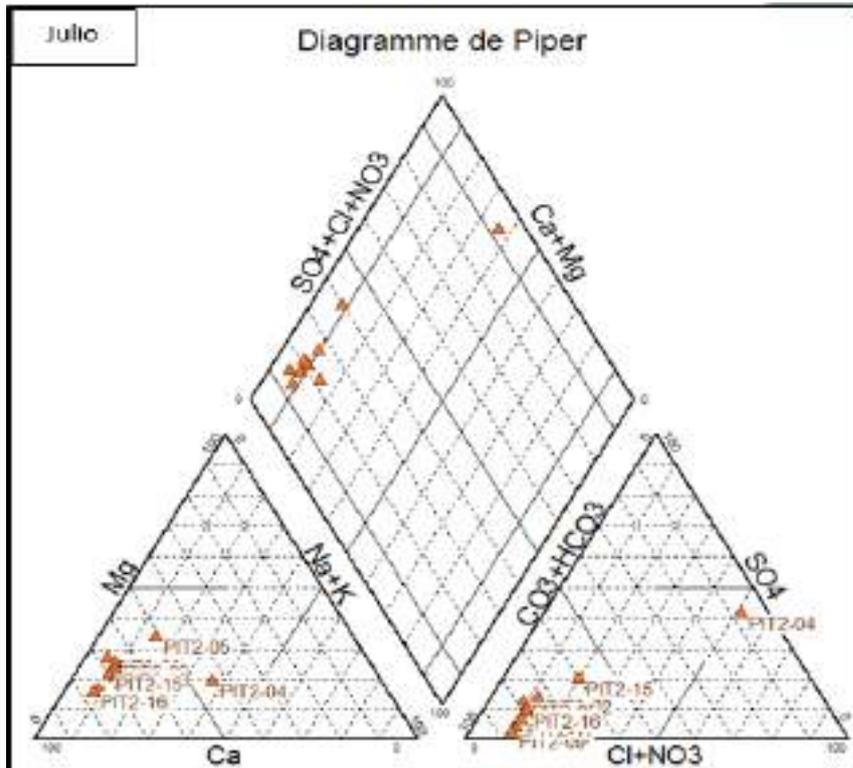


Figura 29. Diagrama de Piper en la temporada seca, julio-2017. Fuente: Elaboración propia.

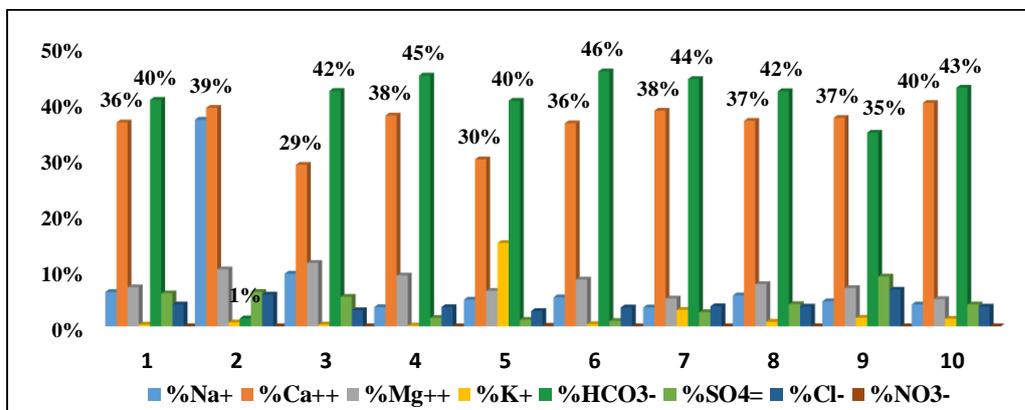


Figura 30. Porcentaje de componentes químicos en la temporada seca, julio-2017. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 31 muestra el tipo de agua en la segunda evaluación del mes de octubre, 2017. El diagrama de Piper en cuanto a los triángulos de cationes muestra la aglomeración de los puntos en el lado del tipo cálcico, alcanzando un porcentaje mínimo de 28 % y máximo 43 % (Figura 32); al igual que en el primer mes de evaluación el pozo de monitoreo Pit2-4 se aleja del grupo, donde se muestra mayor contenido de sodio (26 %) a comparación del calcio (16 %), las concentraciones de sodio, magnesio y potasio en los demás pozos son bajas. En

cuanto a los triángulos de aniones se observa la aglomeración de los puntos en el lado de tipo bicarbonatado, alcanzando porcentaje mínimo de 30 % y máximo de 46 % (Figura 32); asimismo se observa presencia del anión cloruro hasta un 15 % y escasa concentración del anión sulfato. El rombo del diagrama de Piper muestra que todos los pozos de monitoreo se encuentran aglomerados en la parte de tipo bicarbonatados cálcicos (99 %), excepto el pozo Pit2-4 que presenta un agua de tipo sulfatado cálcico sódico (1 %).

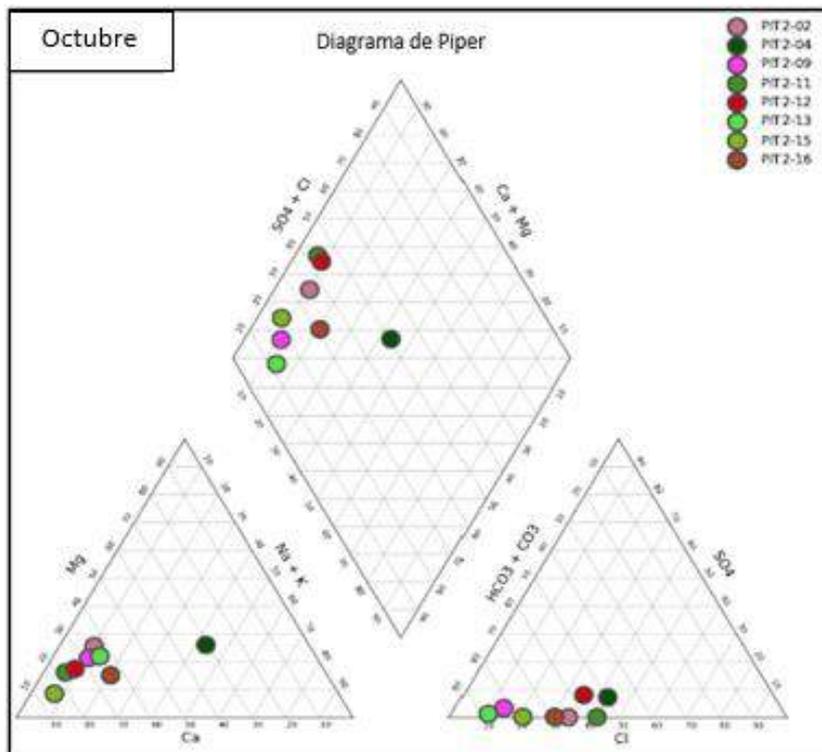


Figura 31. Diagrama de Piper en la temporada seca, octubre-2017. Fuente: Elaboración propia.

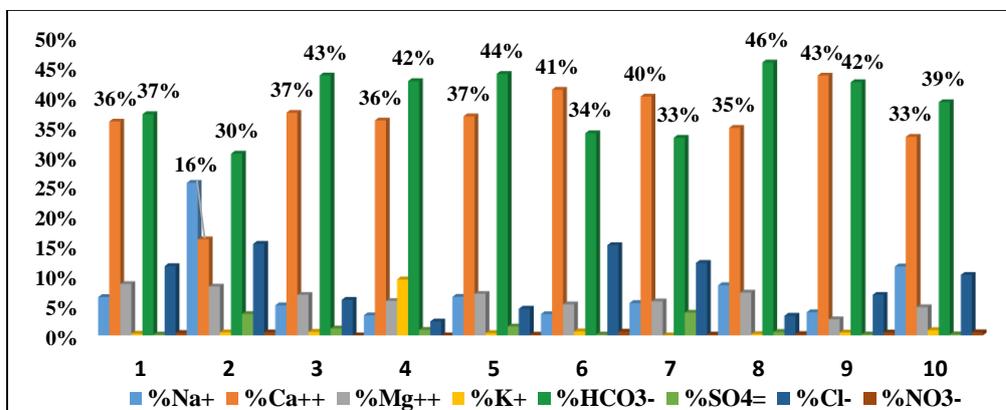


Figura 32. Porcentaje de componentes químicos en la temporada seca, octubre-2017. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 33 muestra el tipo de agua en la tercera evaluación del mes de diciembre, 2017. El diagrama de Piper en cuanto a los triángulos de cationes muestra la aglomeración de los puntos en el lado del tipo cálcico, alcanzando un porcentaje mínimo de 28 % y máximo 43 % (Figura 34); al igual que en el primer mes de evaluación el pozo de monitoreo Pit2-4 se aleja del grupo, donde se muestra mayor contenido de sodio (26 %) a comparación del calcio (16 %), las concentraciones de sodio, magnesio y potasio en los demás pozos son bajas. En cuanto a los triángulos de aniones se observa la aglomeración de los puntos en el lado de tipo bicarbonatado, alcanzando porcentaje mínimo de 30 % y máximo de 46 % (Figura 34); asimismo se observa presencia del anión cloruro hasta un 15 % y escasa concentración del anión sulfato. El rombo del diagrama de Piper muestra que todos los pozos de monitoreo se encuentran aglomerados en la parte de tipo bicarbonatados cálcicos, excepto el pozo Pit2-4 que presenta un agua de tipo bicarbonatado sódico.

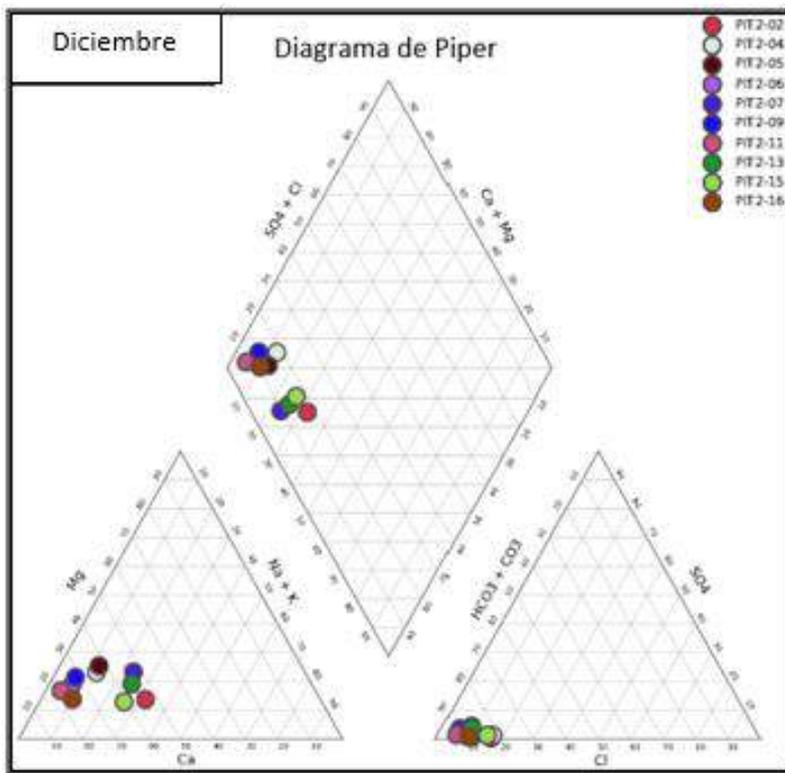


Figura 33. Diagrama de Piper en la temporada de transición, diciembre-2017. Fuente: Elaboración propia.

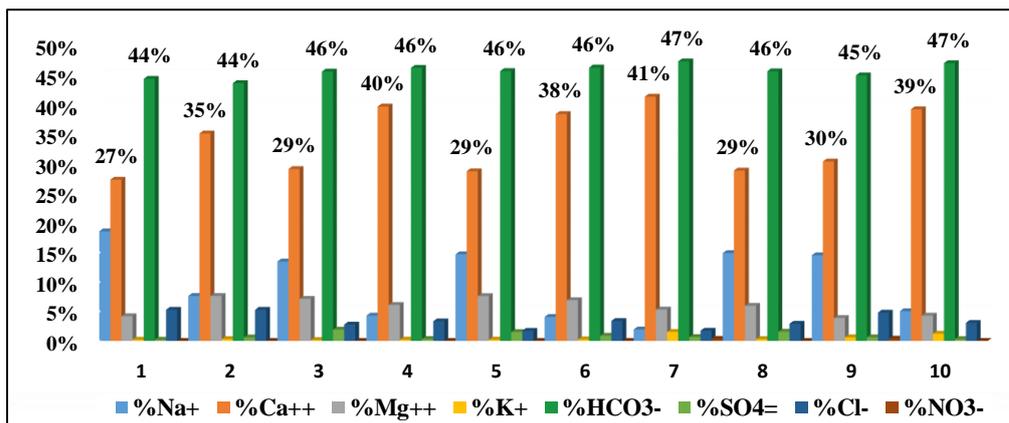


Figura 34. Porcentaje de componentes químicos en la temporada de transición, diciembre-2017. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 35 muestra el tipo de agua en la cuarta evaluación del mes de enero, 2018. El diagrama de Piper en cuanto a los triángulos de cationes muestra la aglomeración de los puntos en el lado del tipo cálcico, alcanzando un porcentaje mínimo de 21 % y máximo 47 % (Figura 36); las concentraciones de sodio, magnesio y potasio son mínimos en todos los pozos de monitoreo. En cuanto a los triángulos de aniones se observa la aglomeración de los puntos en el lado de tipo bicarbonatado, alcanzando porcentaje mínimo de 42 % y máximo de 65 % (Figura 36); la concentración de bicarbonato aumenta notablemente en los pozos de muestreo a comparación de los otros meses muestreados; la presencia de los demás aniones como cloruros, sulfatos y nitratos son mínimos. El rombo del diagrama de Piper muestra que todos los pozos de monitoreo se encuentran aglomerados en la parte de tipo bicarbonatados cálcicos al 100 %.

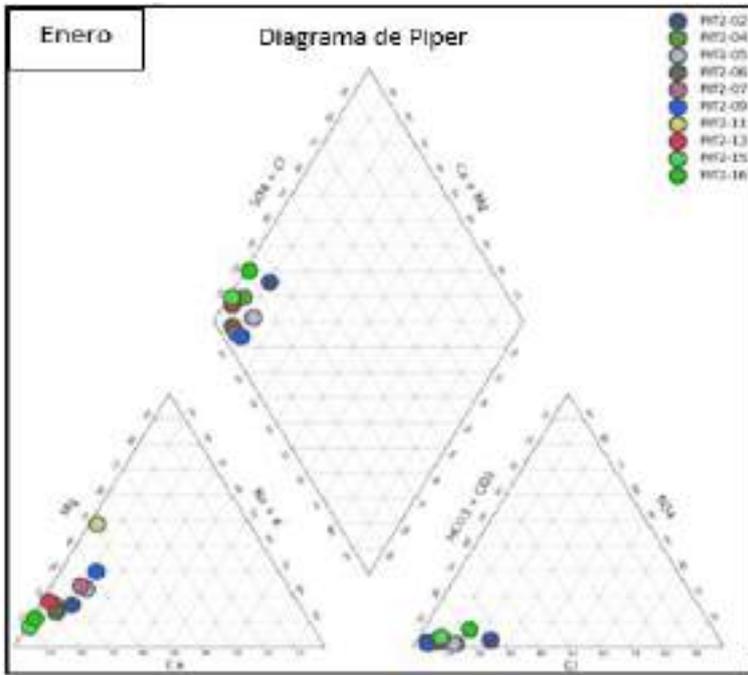


Figura 35. Diagrama de Piper en la temporada húmeda, enero-2018. Fuente: Elaboración propia.

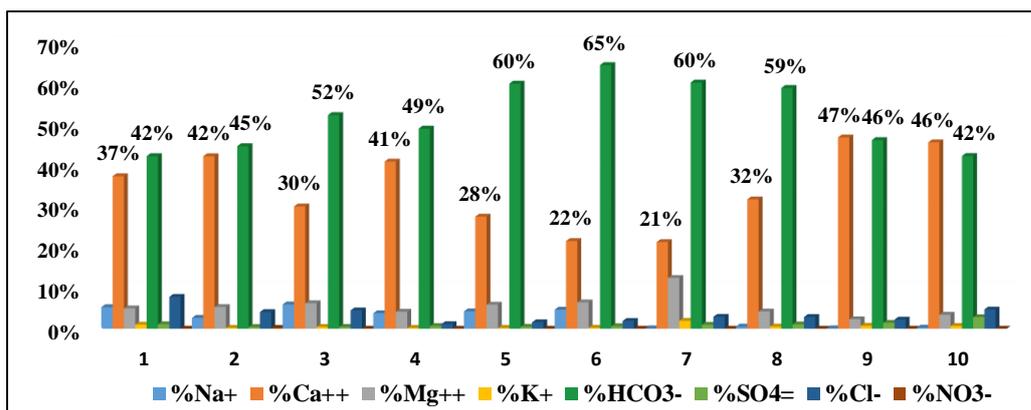


Figura 36. Porcentaje de componentes químicos en la temporada húmeda, enero-2018. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 37 muestra el tipo de agua en la quinta evaluación del mes de marzo, 2018. El diagrama de Piper en cuanto a los triángulos de cationes muestra la aglomeración de los puntos en el lado del tipo cálcico, alcanzando un porcentaje mínimo de 20 % y máximo 39 % (Figura 38); el catión magnesio aumenta su concentración entre 7 % a 15 % en los pozos muestreados a comparación de los anteriores meses; el sodio aumenta su concentración solo en los pozos Pit2-2 y Pit2-4 (12 % y 17 %), en los demás pozos siguen teniendo concentraciones mínimas. En cuanto a los triángulos de aniones se observa la aglomeración de los puntos en el lado de tipo bicarbonatado, alcanzando porcentaje mínimo de 28 % y máximo de 48 % (Figura 38); la presencia de los demás aniones como cloruros, sulfatos y

nitratos siguen siendo mínimos. El rombo del diagrama de Piper muestra que todos los pozos de monitoreo se encuentran aglomerados en la parte de tipo bicarbonatados cálcicos al 100 %.

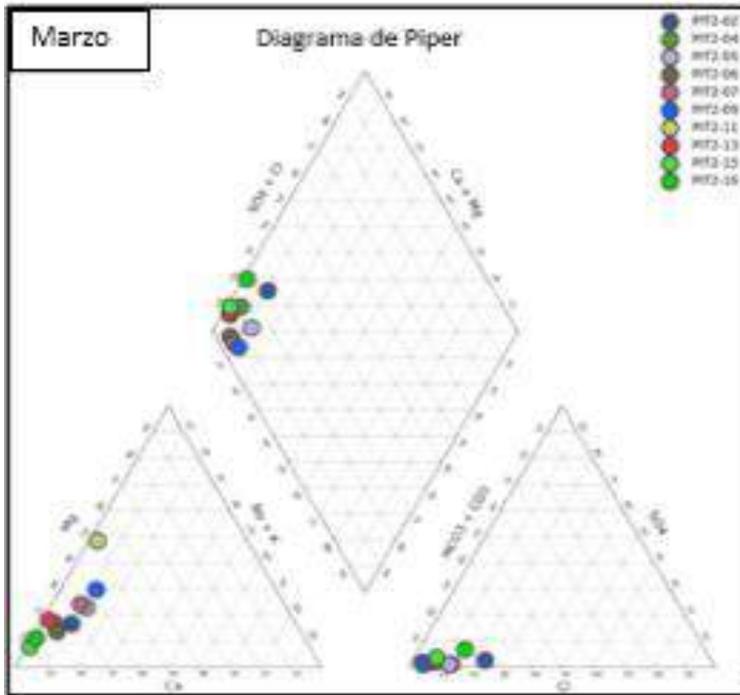


Figura 37. Diagrama de Piper en la temporada húmeda, marzo-2018. Fuente: Elaboración propia.

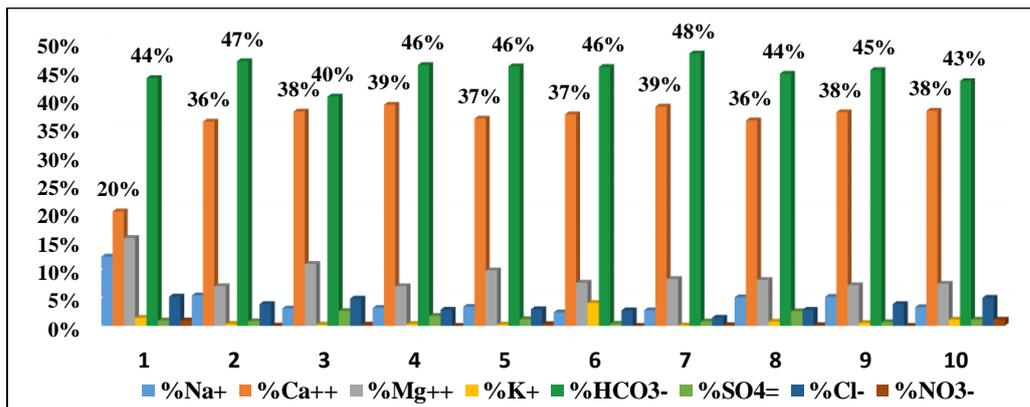


Figura 38. Porcentaje de componentes químicos en la temporada húmeda, marzo-2018. Fuente: Elaboración propia.

a. Validando hipótesis científica H_3 para determinar el tipo de agua y su variación

Para validar el tipo de agua en el bofedal Piticocha sector 2, se plantearon las siguientes hipótesis:

H_3 . El agua en el bofedal Piticocha sector-2 se caracteriza por ser de tipo bicarbonatado-cálcico, y varía según la temporada de muestreo.

H_0 . El agua en el bofedal Piticocha sector-2 se caracteriza por ser de tipo bicarbonatado-cálcico, y no varía según la temporada de muestreo.

Para ello se analizó mediante coeficiente de variación, utilizando el contraste con Tukey, (comparación múltiple de medias), donde se tiene el siguiente análisis de variación temporal de los iones analizados: Pruebas simultaneas para hipótesis lineales generales, múltiples comparaciones de medias: contrastes de Tukey (Tabla 24):

Ajuste: $a \text{ o } v$ (formula = concentración ~ catión, datos = Var Tem)

Se observa que el $p < 0,05$, para el caso de los bicarbonatos de calcio, potasio, magnesio, sodio y sulfato de calcio; por lo cual si existe diferencia significativa entre estos componentes; para los demás componentes no existe variación significativa (Tabla 24).

Tabla 24

Comparación múltiple de medias - contraste de Tukey del tipo de agua en base a sus componentes mayoritarios

	Estimado	Std. Error	t valor	Pr (> t)
HCO3- - Ca == 0	196,712	18,777	10,476	<0,001 ***
NO3- - Ca == 0	-68,23	18,777	-3,634	0,0193 *
SO4= - Ca == 0	-61,162	18,777	-3,257	0,0475 *
Cl- - Ca == 0	-54,38	18,777	-2,896	0,107
K - Cl- == 0	20,7	18,777	1,102	0,9516
Mg - Cl- == 0	-6,76	18,777	-0,36	1
Na - Cl- == 0	-1,144	18,777	-0,061	1
K - HCO3- == 0	-230,392	18,777	-12,27	<0,001 ***
Mg - HCO3- == 0	-257,852	18,777	-13,732	<0,001 ***
Na - HCO3- == 0	-252,236	18,777	-13,433	<0,001 ***
NO3- - K == 0	-34,55	18,777	-1,84	0,5992
SO4= - K == 0	-27,482	18,777	-1,464	0,8204
NO3- - Mg == 0	-7,09	18,777	-0,378	0,9999
SO4= - Mg == 0	-0 022	18,777	-0,001	1
NO3- - Na == 0	-12,706	18,777	-0,677	0,9971
SO4= - Na == 0	-5,638	18,777	-0,3	1

Fuente: Elaboración propia

Significado de códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Analizando el resumen de salida, se determina que el bicarbonato y el calcio son los más abundantes y representativos, que ordenados cualitativamente se tiene según el estadístico R. Por tanto, consideramos que el bicarbonato cálcico, es el más abundante, validando H₃.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

Variabilidad espacial y temporal de los parámetros *in situ* del agua en el bofedal Piticocha sector 2

En la evaluación de los resultados obtenidos de los parámetros *in situ* a través de los estadísticos descriptivos y validación de hipótesis se constató que el pH de las aguas del bofedal Piticocha sector 2 tiende a ser ligeramente neutro, presentando variación temporal mas no espacial. Si bien es cierto que el promedio es casi neutro, los valores varían de 6,10 a 8,50 siendo desde ligeramente ácidos a ligeramente básico. Según Portal (2019), la diferencia temporal y espacial del pH en el bofedal minas corral están relacionado principalmente con la precipitación, registrando los valores de pH ácido en los meses de lluvia (temporada húmeda) y pH básico o alcalino durante la temporada seca; asimismo, menciona que el pH del agua se hace ácido, mientras se encuentra en suelos con napa freática superficial, por estar en contacto con la materia orgánica.

Según Cooper *et al.* (2010), refiere que el pH del agua subterránea tiende a ser alcalino mientras son asociados a las piedras calizas y ácidos cuando están relacionados a rocas de compuestos sulfatados. Además, según Oropeza (2019), hace mención que la acumulación y/o aglomeración de la turba en los cuerpos de agua crea condiciones ácidas y pobre en nutrientes. Por otro lado, según Choy (2018), afirma que el pH del agua subterránea en el bofedal tiende a comportarse ligeramente ácido debido a la presencia de rocas compactadas.

Según los resultados el bofedal Piticocha sector 2 no presenta pH ácido por lo contrario se caracteriza por contener agua con pH ligeramente neutro, este tipo de situaciones según Cooper *et al.* (2010) está relacionado con la acumulación considerable de piedras calizas.

Según el estadístico descriptivo la CE del agua en el bofedal Piticocha sector 2 se eleva durante la temporada seca, alcanzando su valor promedio máximo en el mes de octubre-2017 mientras que, su valor promedio mínimo se presenta al acercarse la temporada húmeda (diciembre-2017). Asimismo, según el análisis de varianza la CE en el bofedal presenta variación espacial mas no temporal, alcanzando su máximo valor en el mes de marzo ($830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y su valor mínimo en el mismo mes ($100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Según Choy (2018), refiere que la CE del agua en el bofedal Moyobamba alcanza su máximo valor durante la temporada seca ya que durante esta temporada se incrementa la concentración de iones disueltos en relación con la formación geológica o el tipo de rocas. Según Oyague y Maldonado (2015), relata que el aumento de las concentraciones de iones disueltos está influenciado a la disponibilidad del agua, es decir, tiende a aumentar en la temporada seca porque el movimiento del fluido del agua es más lento (alcanzando su máximo valor) a comparación de la época lluviosa donde el fluido y volumen de agua aumenta por ende la CE disminuye. Según los resultados la CE del agua en el bofedal Piticocha sector 2 se asemeja al resultado de ambos estudios, alcanzando su máximo valor durante la temporada seca y la variabilidad en los pozos de muestreo está relacionado al tipo de formaciones geológicas que definen su concentración.

En cuanto a la temperatura del agua en promedio resultó $9,7 \text{ }^\circ\text{C}$ alcanzando su valor promedio máximo al acercarse la temporada húmeda (diciembre -2017) de $11,74 \text{ }^\circ\text{C}$ y valor promedio mínimo de $7,75 \text{ }^\circ\text{C}$ durante la temporada seca (Julio-2017). Según el análisis de varianza la temperatura del agua en el bofedal presenta variación temporal mas no espacial. Según Choy (2018), la temperatura del agua en el bofedal Moyobamba registró en promedio $8 \text{ }^\circ\text{C}$, un mínimo de $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ y máximo de $11,8 \text{ }^\circ\text{C}$, considerando que la temperatura del agua es normal para estos tipos de humedales (3000 - 4500 m.s.n.m.); menciona también que la variación de datos está influenciada por el horario de medición. En efecto la temperatura del agua tiene un comportamiento normal propio de humedales altoandinos.

Según el análisis estadístico la CE no presenta variación temporal, pero si espacial respecto a los puntos de monitoreo, lo contrario sucede con el pH donde presenta variabilidad respecto al tiempo y espacio, sin embargo, la diferencia es bastante baja por lo que se realizó un análisis de varianza de medias en donde el p valor resulto mayor a 0,05 en donde se afirma

que el pH no tiene variabilidad significativa. Asimismo, según el análisis estadístico para temperatura demuestra que existe variación temporal mas no espacial.

Variabilidad espacial y temporal de los componentes químicos mayoritarios del agua en el bofedal Piticocha sector 2

A partir de los resultados obtenidos referente a los componentes químicos mayoritarios se evidencia un incremento en cuanto a las concentraciones de aniones y cationes durante la época seca, según Mostacero *et al.* (2008), esta situación se presenta debido al menor efecto de dilución; similares resultados se observan en la investigación realizado por Choy (2018), refiriendo que el aumento de las concentraciones de iones está influenciado a la variación estacional, pues a menos volumen de agua y menos descarga (ausencia de lluvia) provocará el aumento de las concentraciones de bicarbonatos, calcio y demás iones (naturaleza geológica). Asimismo, según Avila (2013), refiere que la evaporación juega un papel importante en el incremento de los iones cloruro, sulfato, sodio, nitrato, bicarbonato y carbonato.

La composición química del agua estuvo representada por el anión bicarbonato y el catión calcio, similares resultados se demuestran en los estudios realizado por Mostacero *et al.* (2008) y Choy (2018), aunque la concentración del anión bicarbonato no es constante, por lo que presenta su valor promedio máximo en la temporada de transición o intermedio (diciembre-2017), y su valor promedio mínimo durante la temporada húmeda (marzo-2018)

Estadísticamente la composición química del agua presenta variación significativa en cuanto a sus concentraciones de manera temporal y espacial. La variación temporal y espacial probablemente está influenciado al aporte, almacenamiento del agua y su naturaleza geológica.

Tipo de agua presente en el bofedal Piticocha sector 2

En su mayoría las muestras del agua subterránea estuvieron representado por el agua de tipo bicarbonatado cálcico, representando un 99 % y el restante dominado por el agua de tipo sulfatado cálcico sódico como se muestra en los diagramas de Piper y los gráficos de barras. Resultados similares se muestran en la investigación realizado por Choy (2018) y Cooper *et al.* (2010), en donde afirman que este tipo de agua (bicarbonatado cálcico y/o sódico) son típicas en aguas de bofedales poco profundas y frescas, influenciados por la geología y la presencia de rocas carbonatados, donde el agua en contacto con las rocas arrastra los minerales convirtiéndolos en bicarbonatados cálcicos y magnésicos. En efecto los iones presentes en el agua se deben principalmente al tipo de rocas (contacto agua-roca) que definen el tipo de agua.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se caracterizó hidroquímicamente el agua del bofedal Piticocha sector 2 y se determinó su variabilidad temporal y espacial en base a los parámetros físico-químicos (pH, CE Y T°), composición química mayoritario y tipo de agua.
2. La variabilidad de los parámetros físico-químicos del agua en el bofedal Piticocha sector 2 se determinó por medio del estadístico descriptivo y análisis de varianza, describiendo que el pH del agua resultó ligeramente ácido a ligeramente básicos, aguas ácidas mientras son relacionados a rocas sulfatadas altamente mineralizadas y aguas básicas cuando se encuentran con presencia de rocas carbonatadas, alcanzando el valor mínimo de 6,10 y máximo de 8,50 presentando variación temporal mas no espacial. Asimismo, la conductividad eléctrica tendió aumentar durante la temporada seca alcanzando el valor máximo en el mes de octubre ($410 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y el valor mínimo en la temporada de transición del mes de diciembre ($328,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) presentando variaciones espaciales mas no temporales. Finalmente, la temperatura presentó valores entre $7,75 \text{ }^\circ\text{C}$ y $11,74 \text{ }^\circ\text{C}$ no presentando variación espacial ni temporal.
3. En cuanto a la determinación temporal y espacial de los componentes químicos mayoritarios del agua en el bofedal Piticocha sector 2 se presentó variaciones espaciales y temporales; precisando que la concentración de los iones (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , SO_4^-) por lo general aumenta en el transcurso de la temporada seca y está representado por el ión calcio y el ión bicarbonato de acuerdo a la composición mayoritaria, en tal sentido el ion Ca^{++} alcanzó su valor máximo en el mes de diciembre (temporada de transición) de $78,43 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y su valor mínimo en el mes de marzo (temporada húmeda) de $60,03 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, del mismo modo el ion HCO_3^- mostró su registro más alto en el mes de diciembre de $324,93 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y su registro más bajo en el mes de marzo de $221,15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$

4. El tipo de agua en el bofedal Piticocha sector 2 se identificó mediante el diagrama de Piper por lo que mostró aguas de tipo bicarbonatado cálcico en un 99 % y el restante de tipo sulfatado cálcico y bicarbonatado sódico, el mismo comportamiento se mostró en la determinación de la composición química de acuerdo a sus componentes mayoritarios, por lo que se hace mención que este tipo de agua son típicas en aguas de bofedales provocados por la misma geología, el tipo de roca y sobre todo por presencia de rocas carbonatados.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Para fines de monitoreo de los parámetros evaluados es necesario mediciones en la época seca y época húmeda y tener los pozos bien definidos para determinar con claridad la concentración de los componentes químicos mayoritarios en el tiempo y espacio definido.
2. No existe información sobre la hidroquímica del agua en el bofedal Piticocha sector 2, por lo que es necesario registros de monitoreo a través de los años, lo que darán una mejor estimación de los componentes químicos, y tomar decisiones para una gestión sostenible del recurso.
3. Se recomienda realizar un análisis más profundo de la hidroquímica del agua en relación al cambio climático y la actividad antrópica, ya que en dicho bofedal se realiza la actividad del pastoreo de camélidos sudamericanos, que se alimentan de la vegetación de las turbas, entre otros.
4. Es necesario mediciones de otros parámetros como es el oxígeno disuelto para enriquecer la información y determinar el estado de vida acuática.
5. Los resultados encontrados nos indican que el agua es de buena calidad, por lo que es necesario su conservación, y se hace llamado a las autoridades competentes para realizar un monitoreo progresivo y realizar una gestión sostenible del recurso.

REFERENCIAS

- Avila, L. (2013). *Hidrogeología e hidrogeoquímica del humedal altoandino de Chaquilla (Potosí-Bolivia)*. (Tesis de maestría) Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/263806722_Hidrogeologia_e_hidrogeoquimica_del_humedal_altoandino_de_Chaquilla_Potosi-Bolivia
- Apucusi, C. (2019). *Caracterización físico química, hidrológica y ecológica de las aguas subterráneas de los distritos de Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya, Pocsi, Yarabamba y Sabandia de la provincia de Arequipa*. (Tesis de grado) Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8666>
- Alzérreca, H. (1988). Diagnóstico y prioridades de investigación en praderas y pasturas del Altiplano y Altoandino de Bolivia. *PAC, CORDEOR*, 214-264. Oruro, Bolivia.
- Alzérreca, H., Prieto, G., Laura, J., Luna, D., y Laguna, S. (2001). Características y distribución de los bofedales en el ámbito Boliviano. *Informe interno*. Pág. 1-55 Recuperado de http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.12.pdf
- Alegría, M. A., Pozo, V. L., Rojas, M. F., y Lillo, A. (2000). Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile. Pág. 1-15. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/7136/DGA-HUMED06.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alfaro, C. (2012). Metodología de la investigación científica aplicada a la ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de: https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_ABRIL_2012/IF_ALFARO%20RODRIGUEZ_FIEE.pdf
- Alcántara, A. y López, R. (sf). Influencia de las actividades Antrópicas en ecosistemas altoandinos de Bofedales. Canta, Perú. Recuperado de: <http://sigloxxi.espm.edu.ec/Ponencias/VIII/II%20CIIDS/SIMPOSIO1/MAEM-015-2019.pdf>
- Beck, S. (1985). Flórula ecológica en Bolivia. En: Ecología en Bolivia. Revista del Instituto de ecología. Universidad Mayor de San Andrés, 6, 1-41.

- Calvo, V. (2016). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de Bofedales de alta Montaña*. (Tesis de grado), Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2604/P01-C349-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cepeda, J. (2013). Varibilidad temporal de algunos parámetros físicos e hidroquímicos de un padro húmedo alto-andino del norte-centro de Chile. *IDESIA*, 31 (2),89-97.
- Cooper, D., Wolf, E., Colson, C., Vering, W., Granda, A., y Meyer, M. (2010). Alpine Peatlands of the Andes, Cajamarca, Perú. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 42(1), 19-33. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1657/1938-4246-42.1.19?needAccess=true>
- Choy, A. (2018). *Caracterización hidroquímica y su varibilidad espacio-temporal en los bofedales altoandinos de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, sector Moyobamba*. (Tesis de grado) Universidad Católica Sedes Sapientiae. Recuperado de http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/559/Choy_Alfredo_tesis_bac_hiller_2018.pdf?sequence=9&isAllowed=y
- Crispin, M. (2015). *Valoración económica ambiental de los bofedales del distrito de Pilpichaca, Huancavelica, Perú*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria la Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1584/P01.C75-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cáceres, C. (2013). Protección y conservación de los bofedales y humedales en el Perú, Bolivia, España, Paraguay y Venezuela. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2DC66A75EEB084C2052581140077DAB3/\\$FILE/302_INFINVES33_bofedales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2DC66A75EEB084C2052581140077DAB3/$FILE/302_INFINVES33_bofedales.pdf)
- Duran, J., Garcia, A., y Robledo, P. (2009). Propuesta de clasificación genético-geológica de Humedales. Aplicación a los humedales Españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. *Boletín geológico y minero*.120(3), 335-346. Recuperado de http://aguas.igme.es/Boletin/2009/120_3_2009/4-ARTICULO%201%20335-346.pdf
- Fuentealba, B. (2019). Bofedales: características y su importancia frente al cambio climático. *Humedales y cambio climático*. Perú. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/Bofedales-caracter%20C3%ADsticas-y-su-importancia-frente-al-cambio-clim%20C3%A1tico.pdf>

- García, E., y Otto, M. (2015). Caracterización ecohidrológica de humedales altoandinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del Río Santa, Ancash, Perú. *Ecología aplicada*. 14(2), 116-125. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v14n2/a04v14n2.pdf>
- García, Y., Balmaseda, C., y Vargas, H. (2012). Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, Municipio Majibacoa, Provincia las Tunas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 21(3), 29-34. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n3/rcta05312.pdf>
- Gil, J. E. (2011). Bofedal: Humedal Altoandino de Importancia Para el Desarrollo de la Región Cusco. Pág. 1-10. Recuperado de Cebem.org: http://cebem.org/cmsfiles/articulos/Humedales_conservacion.pdf
- Gómez, J. (1966). Notas sobre la Vegetación del Valle de Marca. *Biota*, 6(47), 93-123.
- González, A., Fagundo, J., Carillo, J., y Rodríguez, R. (2012). Geoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en rocas sedimentarias y rocas volcánicas de Loreto, BCS, México. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 64(3), 319-333. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v64n3/v64n3a5.pdf>
- Herrera, C. (2001). *Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias*. (Tesis de grado), Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93527>
- Huerta, (2018). *Caracterización hidroquímica y calidad de agua subterránea de la Región Sudoccidental de la Región Arequipa, entre los meses de enero y diciembre*. (Tesis de grado) Universidad Nacional de Arequipa.
- Instituto Nacional de Estadística e informática [INEI]. (2011). Distrito de San Lorenzo de Quinti (Mapa referencial). Perú. Recuperado de <https://map-peru.com/es/mapas/ficha-distrito-de-san-lorenzo-de-quinti>
- International groundwater Resources Assessment Centre [IGRAC]. (2003). ¿Qué es agua subterránea? Recuperado de <https://www.un-igrac.org/es/qu%C3%A9-es-agua-subterr%C3%A1nea>
- Laboratorio de agua, suelos y medio ambiente y fertirriego [LASMAF]. (2017). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/facultad/agricola/lasmaf_areas.htm

- Maldonado, M. S. (2017). Bofedales peruanos principales características. *I Congreso peruano de Humedales*. Lima, Perú. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324953156_Bofedales_Peruanos_Principales_Caracteristicas
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2015). *Determinación de condición ambiental de bofedales de Paisalla y Caquena y ocupación de comunidades indígenas*. Universidad Arturo Prat, Chile. Recuperado de <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/992>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2011). Inventario y evaluación del Patrimonio Natural en la Reserva Pasajística Nor Yauyos Cochabamba. Perú. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/direccion/wp-content/uploads/sites/6/2013/09/patrimonio-natural.pdf>
- Mostacero, L.J., Ramirez, V.R. y Mejia, C.F. (2008). Caracterización biológica, física y química de los humedales altoandinos de la Libertad, Perú, 2008. *REBIOL*, 28(2),91-98.
- Navarro, G. (1999). Aproximación a la tipificación biogeográfico-ecológica de los sistemas acuáticos y palustres de Bolivia. *Ecología y conservación ambiental*, 6, 95-110.
- Oropeza, Y. (2019). *Flora de los bofedales aledaños a la laguna Miloc y su relación con el agua subterránea. Distrito de Carampoma, Huarochiri*. (Tesis de grado). Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4235/oropeza-abregu-yoselin-esther.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oyague, P.E y Maldonado, F. M. (2015). Relationships between aquatic invertebrates, water quality and vegetation in an andean peatland system. *Mires and Peat*, 15,1-21
- Oyague,E. (2021). *Variabilidad de los factores hidrológicos e hidráulicos en cuatro turberas de los andes centrales*. (Tesis de maestría) Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Portal, E., Carrasco, C. y Avalos, E. (2018). Incidencias de las características químicas del suelo y agua en la pérdida de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos, Microcuenca Apacheta, Ayacucho 2017. *Investigación*, 26 (1), 73-82. Recuperado de

<http://revistas.unsch.edu.pe/revistasunsch/index.php/investigacion/article/view/61/58>

Portal, E. (2019). *Influencia de la napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en bofedales altoandinos* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Quinteros, N. L. (2017). UCSS busca la reducción de los efectos del cambio climático en la sierra de Lima. Recuperado de CampUCSS: <https://camp.ucss.edu.pe/blog/ucss-busca-la-reduccion-de-los-efectos-del-cambio-climatico-en-la-sierra-de-lima/>

Rebollo, L. F. (s.f.). *Hidrogeología - Tema 7, Características físico-químicas de las aguas subterráneas*. Universidad de Alcalá. Recuperado de https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/Pg-MA-ASIG/Pg-ASIG-67044/TAB42351/T7-Characterísticas%20de%20las%20aguas%20subterráneas.pdf

Rodríguez, M., Taboada, M.M., y Taboada, M. T. (2003). Caracterización hidroquímica de un pequeño manantial de macizo granítico de A Coruña (NW España). *Cuadernos Lab. Xeológico de Laxe*. 28(1) 285-300. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/61899600.pdf>

Ramos, B. (2018). *Caracterización hidroquímica y calidad de agua subterránea de la región sudoccidental de la región Arequipa, entre los meses de enero y diciembre*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10844/SEraviba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ríos, I. (sf). Curso práctico en el manejo de un equipo GPS ["material de curso"]. Recuperado de <https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Curso-practico-GPS-CUOM.pdf>

Sánchez, J. (2011). *Hidroquímica - Conceptos fundamentales*. Recuperado de [ocw.usal.es: http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/11.Hidroquimica_Basica.pdf](http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/11.Hidroquimica_Basica.pdf)

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]. (2016). *Resolución presidencial N° 207-2016-SERNANP*. Recuperado de http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones_Presidenciales/2016/RP%20N%20207-2016-SERNANP.compressed.pdf

Servicio Nacional, Forestal y del Fauna silvestre [SERFOR]. (2019). *Submódulos de ecosistemas frágiles*. Lima, Perú. Recuperado de

<https://www.serfor.gob.pe/modulos-sniffs/modulo-de-inventarios/submodulo-ecosistemas-fragiles>.

Spehn, E., Liberman, M., y Körner, C. (2006). Land use Change and Mountain Biodiversity.

Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM]. (2014). Impacto del cambio climático en los bosques del Perú: el caso de los bosques altoandinos en la RP Nor Yauyos Cochas. Chiclayo, Perú. Recuperado de http://www.uss.edu.pe/uss/descargas/1006/radar/CC_y_Bosques_Peru_Ing._Rocio_Vasquez_UNALM_PERU.pdf

Villazana, K. L. (2014). *Variación temporal de NDVI en la cobertura vegetal natural en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas*. (Tesis de grado). Universidad Alas Peruanas, Huancayo. Recuperado de http://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/uap/2103/2/VILLAZANA_YLLESCA-Resumen.pdf

Yarrow, G. (2009). *Wetland Ecology: Value and Conservation*. Recuperado de [dnr.sc.org: http://www.dnr.sc.gov/wildlife/wetlands/ClemsonExtension-WetlandEcology.pdf](http://www.dnr.sc.gov/wildlife/wetlands/ClemsonExtension-WetlandEcology.pdf)

TERMINOLOGÍA

- a. Caracterización Hidroquímica. - Es la acción de caracterizar la química del agua teniendo en cuenta las variables físicoquímicas, la distribución espacial y evolución temporal (Herrera, 2001).
- b. Bofedales u oconales. - Son humedales de altura que se encuentran sobre los 3800 msnm permaneciendo siempre húmedos. Ofrecen diversos servicios ambientales como regulación del ciclo del agua, reservas de carbono, pastos frescos en cantidad y calidad para pastoreo de ganado y lo más importante que son hábitat de especies de flora y fauna sobre todo de aves migratorias (Cáceres, 2013).
- c. Ecosistemas frágiles. - son territorios de alto valor de conservación, vulnerables al desarrollo de actividades antrópicas que amenazan y ponen en riesgo los servicios ecosistémicos que brindan (Servicio Nacional, Forestal y del Fauna silvestre [SERFOR], 2019).
- d. Aguas subterráneas. - Son aguas que se encuentran en el subsuelo, recargadas con agua de lluvia, agua derretida de nieve o agua que gotea por el fondo de lagunas y ríos, parte de ello es aprovechado por la vegetación y otra parte fluye a través de la zona no saturada (International groundwater Resources Assessment Centre [IGRAC], 2003).
- e. Aguas subsuperficiales. - Es el agua que se encuentra por debajo de la corteza terrestre y por encima del agua subterránea, el cual se acumula o fluye por el interior de la turba en los bofedales, originados por componentes vegetales (Cooper, et al, 2010).
- f. Turba. - Suelo orgánico, con al menos 30% de materia orgánica (Fuentealba, 2019). Es la materia orgánica formado por la descomposición incompleta de restos vegetales, en ambientes saturado de agua como son los bofedales (Maldonado, 2017)
- g. Composición química del agua subterránea. - Son los resultados continuos del proceso de interacción del agua con los minerales, aguas de precipitación que se infiltran al

subsuelo y los minerales de la litología por donde circula el agua (González, Fagundo, Carillo y Rodríguez, 2012). La composición química de aguas subterráneas caracterizados por componentes inorgánicos (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- y SO_4^{2-}) es el resultado de la meteorización química natural y fuentes antrópicas (Rodríguez et al., 2003)

- h. Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea. – son parámetros genéricos que expresan el grado de mineralización del agua como son la conductividad eléctrica (capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica), pH (grado de acides/basicidad del agua) y temperatura (indicador del ambiente fisicoquímico en el interior de la zona saturada) (Rebollo, s.f.)
- i. Componentes químicos mayoritarios del agua. – componentes químicos que se encuentran en mayor proporción de 1 a 1000 ppm, constituyen en torno de 90 a 95 % de los sólidos totales, son representados por cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), aniones (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) y coloides (SiO_2) (Rebollo, s.f.)
- j. Reserva Paisajística. – Forman parte de área natural protegida del Perú, áreas donde se protegen ambientes con integridad geográfica que muestran una relación armoniosa hombre-ambiente, albergando valores naturales, culturales y estéticos (Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM], 2014)

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Multiparámetro portátil Hanna modelo HI 9813-6



SERIE HI 9813
EQUIPOS PORTÁTILES PARA pH/CE/TDS/°C

Los medidores multiparamétricos HI 9813-5 y HI 9813-6 son versátiles, resistentes al agua y fueron diseñados específicamente para aplicaciones como hidroponía, invernaderos, agricultura, entre otros.

Esta serie de instrumentos cuentan con una pantalla LCD que muestra claramente los parámetros medidos así como las instrucciones de la calibración. La calibración es rápida y fácil con las perillas localizadas en frente del panel del instrumento.

El HI 9813-5 es un medidor para realizar mediciones de pH, mS/cm, ppm y temperatura en °C.

El HI 9813-6 incluye todos los beneficios del HI 9813-5 incorporando nuestra característica exclusiva CAL-CHECK™ que permite al usuario realizar una revisión rápida del estado de la calibración de la sonda en cualquier momento. Ambos instrumentos utilizan las sondas de la serie HI285 para pH/CE/TDS/temperatura. Esta sonda cuenta con una unión de tela y un electrodo en gel ideal para usarlo en soluciones fertilizantes.

CARACTERÍSTICAS

- **Resistente a salpicaduras**
- **Guía de usuario en pantalla**
Ahorra tiempo con las guías de calibración en pantalla.
- **CAL CHECK™**
Alerta al usuario sobre el estado de la calibración (solo HI 9813-6)
- **BEPS**
BEPS (Sistema de protección por error en la batería) Alerta al usuario cuando la batería está baja y puede afectar en las lecturas.
- **Selección del parámetro deseado con solo tocar un botón**
- **Compensación automática de temperatura**
Para pH y conductividad
- **Calibración simple**
Perillas colocadas al frente del equipo para realizar una calibración simple y rápida, incluso para usuarios no experimentados
- **Muestra el porcentaje de batería al encender el medidor**
- **Respuesta rápida**

APÉNDICE 2

Protocolo de monitoreo para agua subterránea

Previo a la salida de campo	Preparar con anticipación los materiales: mapa de ubicación de los puntos de monitoreo, GPS, multiparámetro, los buffers de pH y conductividad, batería de equipos, plan de trabajo, materiales (bailer, botellas, cooler, etc.)		
Trabajo en campo	Observar minuciosamente el cuerpo de agua y anotar (presencia de flora y fauna, actividad antrópica, color, olor, residuos en el agua, etc).		
	Calibración de equipo	Calibrar los equipos portátiles según la especificación del fabricante (multiparámetro, GPS), es recomendable realizarlo <i>in situ</i> .	
	Toma de muestra <i>in situ</i>	Las mediciones de los parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica y temperatura) es posible realizar directamente en el cuerpo de agua mientras los equipos cumplen las condiciones, dejar que se estabilice la lectura para anotar el dato. Al término de la lectura se debe lavar los electrodos con agua destilada y secar con papel toalla para guardarlo.	
	Recolección de muestra	Para los análisis de los parámetros físico-químico o inorgánicos utilizar frascos de plásticos con cierre hermético de 1 litro de capacidad y coleccionar directamente del cuerpo de agua. Antes de la toma de muestra enjuagar 2 a 3 veces el frasco con el mismo agua.	
		Rotular los frascos previo a la toma de muestra.	
Las muestras no requieren preservación solo conservar en un coolers de preferencia a 4°C.			
Identificación de la muestra	Etiquetar las muestras con letra legible.		
	Para dejar las muestras en el laboratorio se deberá registrar en un formato la información de procedencia de la muestra: Número de muestra Código de identificación Origen de la muestra Descripción del punto de muestreo Tipo de análisis requerido Nombre del responsable del muestreo.		

APÉNDICE 3

Formato para recepción de muestras de agua



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
 Departamento de Recursos Hídricos
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Telefax: 6147800 Anexo: 228 Lima, E-mail: las-fed@lamolina.edu.pe



SOLICITUD PARA ANALISIS DE AGUA - FINES AGRICULTURA N° SGC - _____ - 2018

LAB N°: _____

FECHA DE SOLICITUD: _____ FECHA DE ACEPTACION: _____

NOMBRE O RAZON SOCIAL: _____

DIRECCION: _____

RUC: _____ TELEFONO: _____ Email: _____

SOLICITANTE: _____

MUESTRA DE: _____ N° DE MUESTRAS: _____

PROYECTO: _____

PROCEDENCIA: _____

PROFUNDIDAD: _____

PRESENTACION: _____

Si es un solo proyecto anotar si son varios llenar la hoja al reverso o anexas su lista

CANT. DE MUESTRA (ml): _____ CANT. DE MUESTRA DIRIMIENTE (ml): _____

PRECINTO: _____ PERIODO DE CUSTODIA: _____ GUARDAR: _____ DESCARTAR: _____

REFERENCIA: _____

N°	ANALISIS	PARAMETRO	CANT	P x M	TOTAL
1	COMPLETO DE RUTINA	Aniones, Cationes, pH, C.E., Soro		50.00	
2	MICRO ELEMENTOS	- Hierro - Cobre - Zinc - Manganeso		25.00 (c/u)	
3	ELEMENTOS PESADOS	- Plomo - Cadmio - Cromo		35.00 (c/u)	
4	NITRATOS			35.00	
5	OTROS	- Dureza - Alcalinidad - Sólidos en Suspensión - Turbidez		35.00 35.00 35.00 35.00	
				PRECIO TOTAL	

OTROS: _____

 SOLICITANTE N° DNI
 NOMBRE:

ALZAGROS AINA CORDOVA
 RECEPCIONADO POR

APÉNDICE 4

Resultados de los parámetros *in situ* del agua en el bbbofedal Piticocha sector 2

Estaciones de monitoreo	Mes	2017			2017			2018			2018					
		pH	CE (μS.cm ⁻¹)	T (°C)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)	T (°C)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)	T (°C)	pH	CE (μS.cm ⁻¹)	T (°C)			
PIT2-01		7,5	160,0	7,3	7,1	170,0	10,2	6,7	180,0	11,2	7,0	180,0	11,4	7,0	200,0	8,9
PIT2-02		7,0	510,0	10,1	7,6	430,0	8,6	6,6	220,0	16	7,8	140,0	12,1	6,6	100,0	9,2
PIT2-03		7,3	350,0	10,8	7,4	430,0	8,7	6,9	230,0	11,4	7,5	210,0	10,4	6,9	240,0	9,8
PIT2-04		7,3	180,0	10,5	6,4	250,0	9,3	6,6	220,0	12,1	7,5	300,0	11,8	7,3	310,0	9,6
PIT2-05		7,4	250,0	10,2	7,6	290,0	9,3	6,8	290,0	12,5	7,5	270,0	11,9	7,1	220,0	10,5
PIT2-06		6,7	290,0	9,2	7,6	310,0	7,9	7,0	330,0	11,1	7,5	260,0	10,6	6,7	460,0	10,3
PIT2-07	Julio - 2017	7,1	770,0	7,6	8,4	770,0	7,9	6,5	330,0	11,6	7,5	460,0	10,9	6,9	680,0	10,9
PIT2-08		7,0	160,0	8,7	8,0	190,0	7,8	6,6	190,0	12,2	7,8	160,0	10,9	7,1	200,0	11,3
PIT2-09		7,1	400,0	12,2	8,0	450,0	7,6	6,7	560,0	12,0	8,0	610,0	10,8	6,7	540,0	11,8
PIT2-10		7,4	150,0	7,9	8,2	300,0	8,5	7,0	260,0	11,9	7,5	320,0	9,0	6,6	310,0	11,6
PIT2-11		6,9	520,0	8,0	6,3	630,0	10,3	6,6	640,0	11,1	6,8	750,0	9,4	6,7	830,0	10,9
PIT2-12		7,2	270,0	9,6	8,2	300,0	8,3	6,6	280,0	12,1	7,2	250,0	10,0	6,9	290,0	11,2
PIT2-13		7,3	560,0	8,9	8,0	620,0	8,0	6,9	470,0	11,9	7,2	320,0	9,7	6,7	400,0	10,3
PIT2-14		7,3	520,0	7,9	8,5	630,0	8,2	6,8	500,0	11,6	7,6	250,0	9,4	7,5	320,0	10,6
PIT2-15		7,3	290,0	7,5	6,1	530,0	10,9	6,7	360,0	11,9	7,3	650,0	9,5	6,8	390,0	10,4
PIT2-16		6,8	240,0	8,7	7,8	260,0	7,7	6,6	200,0	11,6	7,3	440,0	8,9	6,7	180,0	10,0

Fuente. Elaboración propia

APÉNDICE 5

Resultados del análisis del agua

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL TERRITORIO, DEL AGUA, DEL RIESGO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: EL TALLER DE LA RESERVA PARA ESTUDIOS Y MANEJO AMBIENTAL
PROYECTO: LINDA Y SOSTENIBLE COMERCIALIZACIÓN
PROCESADOR: Rosalva Paredón del Valle - Mestrando
RESPONSABLE ANÁLISIS: Mg. María Victoria Flores
FECHA DE ANÁLISIS: 14 de Agosto, 12 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO	N° DE CAMPO	PH
01	001	6.90
02	002	6.90
03	003	7.50
04	004	6.90
05	005	6.90
06	006	6.90
07	007	6.90
08	008	6.90
09	009	6.90
10	010	6.90
11	011	6.90
12	012	6.90
13	013	6.90
14	014	6.90
15	015	6.90
16	016	6.90
17	017	6.90
18	018	6.90
19	019	6.90
20	020	6.90
21	021	6.90
22	022	6.90
23	023	6.90
24	024	6.90
25	025	6.90
26	026	6.90
27	027	6.90
28	028	6.90
29	029	6.90
30	030	6.90
31	031	6.90
32	032	6.90
33	033	6.90
34	034	6.90
35	035	6.90
36	036	6.90
37	037	6.90
38	038	6.90
39	039	6.90
40	040	6.90
41	041	6.90
42	042	6.90
43	043	6.90
44	044	6.90
45	045	6.90
46	046	6.90
47	047	6.90
48	048	6.90
49	049	6.90
50	050	6.90
51	051	6.90
52	052	6.90
53	053	6.90
54	054	6.90
55	055	6.90
56	056	6.90
57	057	6.90
58	058	6.90
59	059	6.90
60	060	6.90
61	061	6.90
62	062	6.90
63	063	6.90
64	064	6.90
65	065	6.90
66	066	6.90
67	067	6.90
68	068	6.90
69	069	6.90
70	070	6.90
71	071	6.90
72	072	6.90
73	073	6.90
74	074	6.90
75	075	6.90
76	076	6.90
77	077	6.90
78	078	6.90
79	079	6.90
80	080	6.90
81	081	6.90
82	082	6.90
83	083	6.90
84	084	6.90
85	085	6.90
86	086	6.90
87	087	6.90
88	088	6.90
89	089	6.90
90	090	6.90
91	091	6.90
92	092	6.90
93	093	6.90
94	094	6.90
95	095	6.90
96	096	6.90
97	097	6.90
98	098	6.90
99	099	6.90
100	100	6.90

LABORATORIO DE AGUA Y SUELO
 Mg. Dra. Teresa Velásquez Espinoza
 Jefe de Laboratorio

Facultad de Ingeniería Agrícola

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL TERRITORIO, DEL AGUA, DEL RIESGO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: RESERVA DE LA RESERVA PARA ESTUDIOS Y MANEJO AMBIENTAL
PROYECTO: LINDA Y SOSTENIBLE COMERCIALIZACIÓN
PROCESADOR: Rosalva Paredón del Valle - Mestrando
RESPONSABLE ANÁLISIS: Mg. María Victoria Flores
FECHA DE ANÁLISIS: 14 de Agosto, 12 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO	N° DE CAMPO	PH
01	001	6.90
02	002	6.90
03	003	6.90
04	004	6.90
05	005	6.90
06	006	6.90
07	007	6.90
08	008	6.90
09	009	6.90
10	010	6.90
11	011	6.90
12	012	6.90
13	013	6.90
14	014	6.90
15	015	6.90
16	016	6.90
17	017	6.90
18	018	6.90
19	019	6.90
20	020	6.90
21	021	6.90
22	022	6.90
23	023	6.90
24	024	6.90
25	025	6.90
26	026	6.90
27	027	6.90
28	028	6.90
29	029	6.90
30	030	6.90
31	031	6.90
32	032	6.90
33	033	6.90
34	034	6.90
35	035	6.90
36	036	6.90
37	037	6.90
38	038	6.90
39	039	6.90
40	040	6.90
41	041	6.90
42	042	6.90
43	043	6.90
44	044	6.90
45	045	6.90
46	046	6.90
47	047	6.90
48	048	6.90
49	049	6.90
50	050	6.90
51	051	6.90
52	052	6.90
53	053	6.90
54	054	6.90
55	055	6.90
56	056	6.90
57	057	6.90
58	058	6.90
59	059	6.90
60	060	6.90
61	061	6.90
62	062	6.90
63	063	6.90
64	064	6.90
65	065	6.90
66	066	6.90
67	067	6.90
68	068	6.90
69	069	6.90
70	070	6.90
71	071	6.90
72	072	6.90
73	073	6.90
74	074	6.90
75	075	6.90
76	076	6.90
77	077	6.90
78	078	6.90
79	079	6.90
80	080	6.90
81	081	6.90
82	082	6.90
83	083	6.90
84	084	6.90
85	085	6.90
86	086	6.90
87	087	6.90
88	088	6.90
89	089	6.90
90	090	6.90
91	091	6.90
92	092	6.90
93	093	6.90
94	094	6.90
95	095	6.90
96	096	6.90
97	097	6.90
98	098	6.90
99	099	6.90
100	100	6.90

LABORATORIO DE AGUA Y SUELO
 Mg. Dra. Teresa Velásquez Espinoza
 Jefe de Laboratorio

Facultad de Ingeniería Agrícola

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL TERRITORIO, DEL AGUA, DEL RIESGO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: RESERVA DE LA RESERVA PARA ESTUDIOS Y MANEJO AMBIENTAL
PROYECTO: LINDA Y SOSTENIBLE COMERCIALIZACIÓN
PROCESADOR: Rosalva Paredón del Valle - Mestrando
RESPONSABLE ANÁLISIS: Mg. María Victoria Flores
FECHA DE ANÁLISIS: 14 de Agosto, 12 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO	N° DE CAMPO	PH
01	001	6.90
02	002	6.90
03	003	6.90
04	004	6.90
05	005	6.90
06	006	6.90
07	007	6.90
08	008	6.90
09	009	6.90
10	010	6.90
11	011	6.90
12	012	6.90
13	013	6.90
14	014	6.90
15	015	6.90
16	016	6.90
17	017	6.90
18	018	6.90
19	019	6.90
20	020	6.90
21	021	6.90
22	022	6.90
23	023	6.90
24	024	6.90
25	025	6.90
26	026	6.90
27	027	6.90
28	028	6.90
29	029	6.90
30	030	6.90
31	031	6.90
32	032	6.90
33	033	6.90
34	034	6.90
35	035	6.90
36	036	6.90
37	037	6.90
38	038	6.90
39	039	6.90
40	040	6.90
41	041	6.90
42	042	6.90
43	043	6.90
44	044	6.90
45	045	6.90
46	046	6.90
47	047	6.90
48	048	6.90
49	049	6.90
50	050	6.90
51	051	6.90
52	052	6.90
53	053	6.90
54	054	6.90
55	055	6.90
56	056	6.90
57	057	6.90
58	058	6.90
59	059	6.90
60	060	6.90
61	061	6.90
62	062	6.90
63	063	6.90
64	064	6.90
65	065	6.90
66	066	6.90
67	067	6.90
68	068	6.90
69	069	6.90
70	070	6.90
71	071	6.90
72	072	6.90
73	073	6.90
74	074	6.90
75	075	6.90
76	076	6.90
77	077	6.90
78	078	6.90
79	079	6.90
80	080	6.90
81	081	6.90
82	082	6.90
83	083	6.90
84	084	6.90
85	085	6.90
86	086	6.90
87	087	6.90
88	088	6.90
89	089	6.90
90	090	6.90
91	091	6.90
92	092	6.90
93	093	6.90
94	094	6.90
95	095	6.90
96	096	6.90
97	097	6.90
98	098	6.90
99	099	6.90
100	100	6.90

LABORATORIO DE AGUA Y SUELO
 Mg. Dra. Teresa Velásquez Espinoza
 Jefe de Laboratorio

Facultad de Ingeniería Agrícola

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL TERRITORIO, DEL AGUA, DEL RIESGO AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: RESERVA DE LA RESERVA PARA ESTUDIOS Y MANEJO AMBIENTAL
PROYECTO: LINDA Y SOSTENIBLE COMERCIALIZACIÓN
PROCESADOR: Rosalva Paredón del Valle - Mestrando
RESPONSABLE ANÁLISIS: Mg. María Victoria Flores
FECHA DE ANÁLISIS: 14 de Agosto, 12 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO	N° DE CAMPO	PH
01	001	6.90
02	002	6.90
03	003	6.90
04	004	6.90
05	005	6.90
06	006	6.90
07	007	6.90
08	008	6.90
09	009	6.90
10	010	6.90
11	011	6.90
12	012	6.90
13	013	6.90
14	014	6.90
15	015	6.90
16	016	6.90
17	017	6.90
18	018	6.90
19	019	6.90
20	020	6.90

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
 INSTITUTO DE INGENIERIA AGROPECUARIA
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: INSTITUTO DE LA REGION PARAINTERCOMUNAL DE AGROPECUARIOS
 PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROLOGICA
 PROCEDENCIA: Reserva Pampa de los Indios (Cusco)
 RESPONSABLE ANALISIS: Ing. Tomas Villegas Torres
 FECHA DE ANALISIS: 14 de Mayo, 11 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO		SUELO	
N° DE CAMPO		Bosque Pampa de los Indios	
Cl	agua	0.00	
pH		6.84	
CaCO ₃	mg/L	0.15	
Magnesio	mg/L	0.20	
Sodio	mg/L	0.27	
Potasio	mg/L	0.20	
SUMA DE CATIONES			
Cloruro	mg/L	0.25	
Sulfato	mg/L	0.26	
Fosforo	mg/L	0.20	
Carbonato	mg/L	0.01	
Cloruro	mg/L	0.00	
SUMA DE ANIONES			
CaCO ₃		0.71	
CaCO ₃		0.24	
CLASIFICACION		0.87	
Dureza	ppm	8.77	

LABORATORIO DE AGUA DE AGROPECUARIOS
 Ing. Msc. Tomas Villegas Torres
 Jefe de LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
 INSTITUTO DE INGENIERIA AGROPECUARIA
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: INSTITUTO DE LA REGION PARAINTERCOMUNAL DE AGROPECUARIOS
 PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROLOGICA
 PROCEDENCIA: Reserva Pampa de los Indios (Cusco)
 RESPONSABLE ANALISIS: Ing. Tomas Villegas Torres
 FECHA DE ANALISIS: 14 de Mayo, 11 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO		SUELO	
N° DE CAMPO		Bosque Pampa de los Indios	
Cl	agua	0.00	
pH		6.82	
CaCO ₃	mg/L	0.10	
Magnesio	mg/L	0.20	
Sodio	mg/L	0.20	
Potasio	mg/L	0.20	
SUMA DE CATIONES			
Cloruro	mg/L	0.25	
Sulfato	mg/L	0.24	
Fosforo	mg/L	0.24	
Carbonato	mg/L	0.01	
Cloruro	mg/L	0.00	
SUMA DE ANIONES			
CaCO ₃		0.81	
CaCO ₃		0.20	
CLASIFICACION		0.81	
Dureza	ppm	7.00	

LABORATORIO DE AGUA DE AGROPECUARIOS
 Ing. Msc. Tomas Villegas Torres
 Jefe de LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
 INSTITUTO DE INGENIERIA AGROPECUARIA
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE: INSTITUTO DE LA REGION PARAINTERCOMUNAL DE AGROPECUARIOS
 PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROLOGICA
 PROCEDENCIA: Reserva Pampa de los Indios (Cusco)
 RESPONSABLE ANALISIS: Ing. Tomas Villegas Torres
 FECHA DE ANALISIS: 14 de Mayo, 11 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO		SUELO	
N° DE CAMPO		Bosque Pampa de los Indios	
Cl	agua	0.00	
pH		6.82	
CaCO ₃	mg/L	0.20	
Magnesio	mg/L	0.20	
Sodio	mg/L	0.20	
Potasio	mg/L	0.20	
SUMA DE CATIONES			
Cloruro	mg/L	0.20	
Sulfato	mg/L	0.20	
Fosforo	mg/L	0.20	
Carbonato	mg/L	0.00	
Cloruro	mg/L	0.00	
SUMA DE ANIONES			
CaCO ₃		0.54	
CaCO ₃		0.20	
CLASIFICACION		0.87	
Dureza	ppm	8.77	

LABORATORIO DE AGUA DE AGROPECUARIOS
 Ing. Msc. Tomas Villegas Torres
 Jefe de LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
 INSTITUTO DE INGENIERIA AGROPECUARIA
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

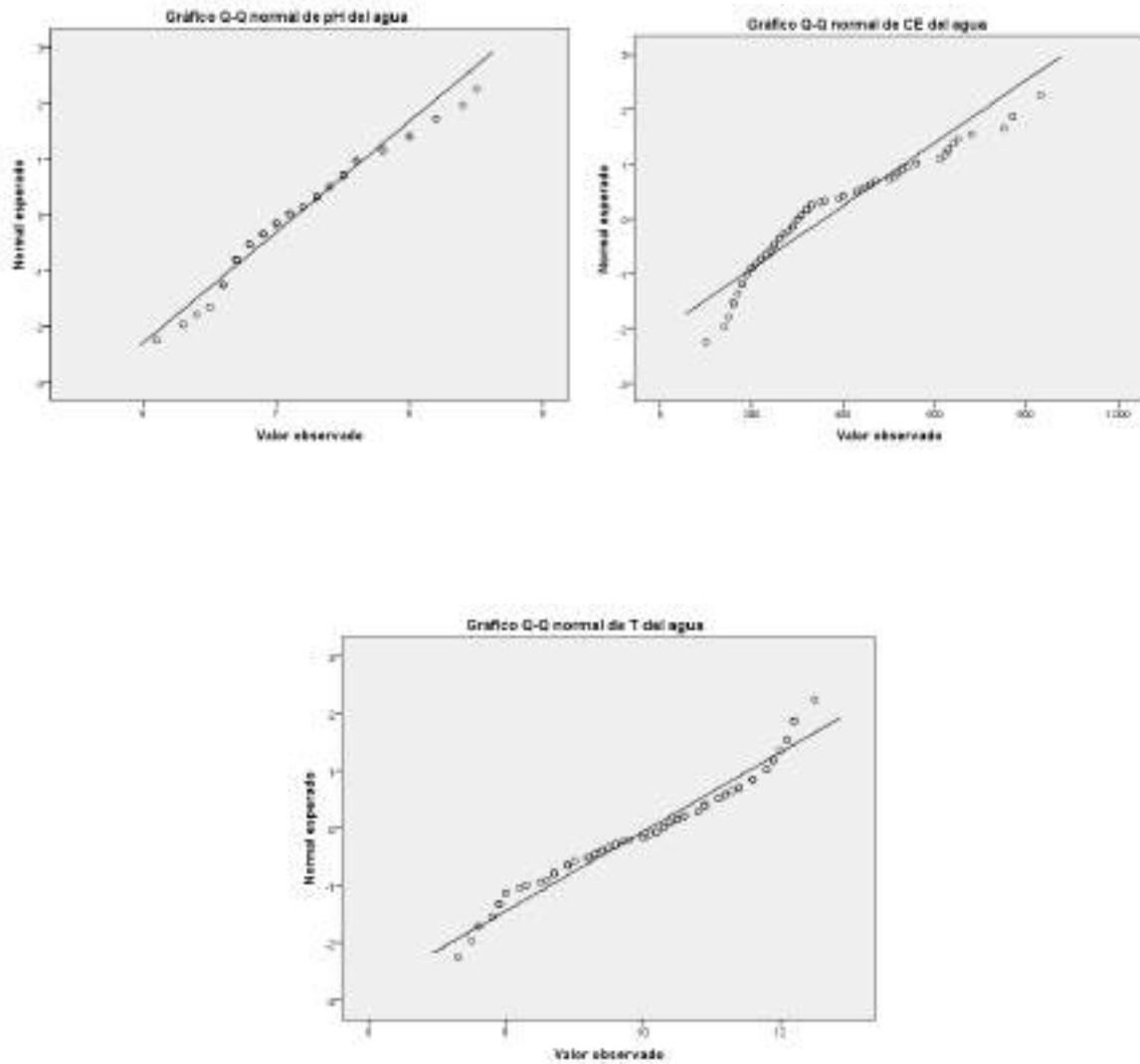
SOLICITANTE: INSTITUTO DE LA REGION PARAINTERCOMUNAL DE AGROPECUARIOS
 PROYECTO: CARACTERIZACION HIDROLOGICA
 PROCEDENCIA: Reserva Pampa de los Indios (Cusco)
 RESPONSABLE ANALISIS: Ing. Tomas Villegas Torres
 FECHA DE ANALISIS: 14 de Mayo, 11 de Octubre del 2017

N° LABORATORIO		SUELO	
N° DE CAMPO		Bosque Pampa de los Indios	
Cl	agua	0.00	
pH		6.82	
CaCO ₃	mg/L	0.20	
Magnesio	mg/L	0.20	
Sodio	mg/L	0.20	
Potasio	mg/L	0.20	
SUMA DE CATIONES			
Cloruro	mg/L	0.20	
Sulfato	mg/L	0.20	
Fosforo	mg/L	0.20	
Carbonato	mg/L	0.00	
Cloruro	mg/L	0.00	
SUMA DE ANIONES			
CaCO ₃		0.54	
CaCO ₃		0.20	
CLASIFICACION		0.87	
Dureza	ppm	8.77	

LABORATORIO DE AGUA DE AGROPECUARIOS
 Ing. Msc. Tomas Villegas Torres
 Jefe de LABORATORIO

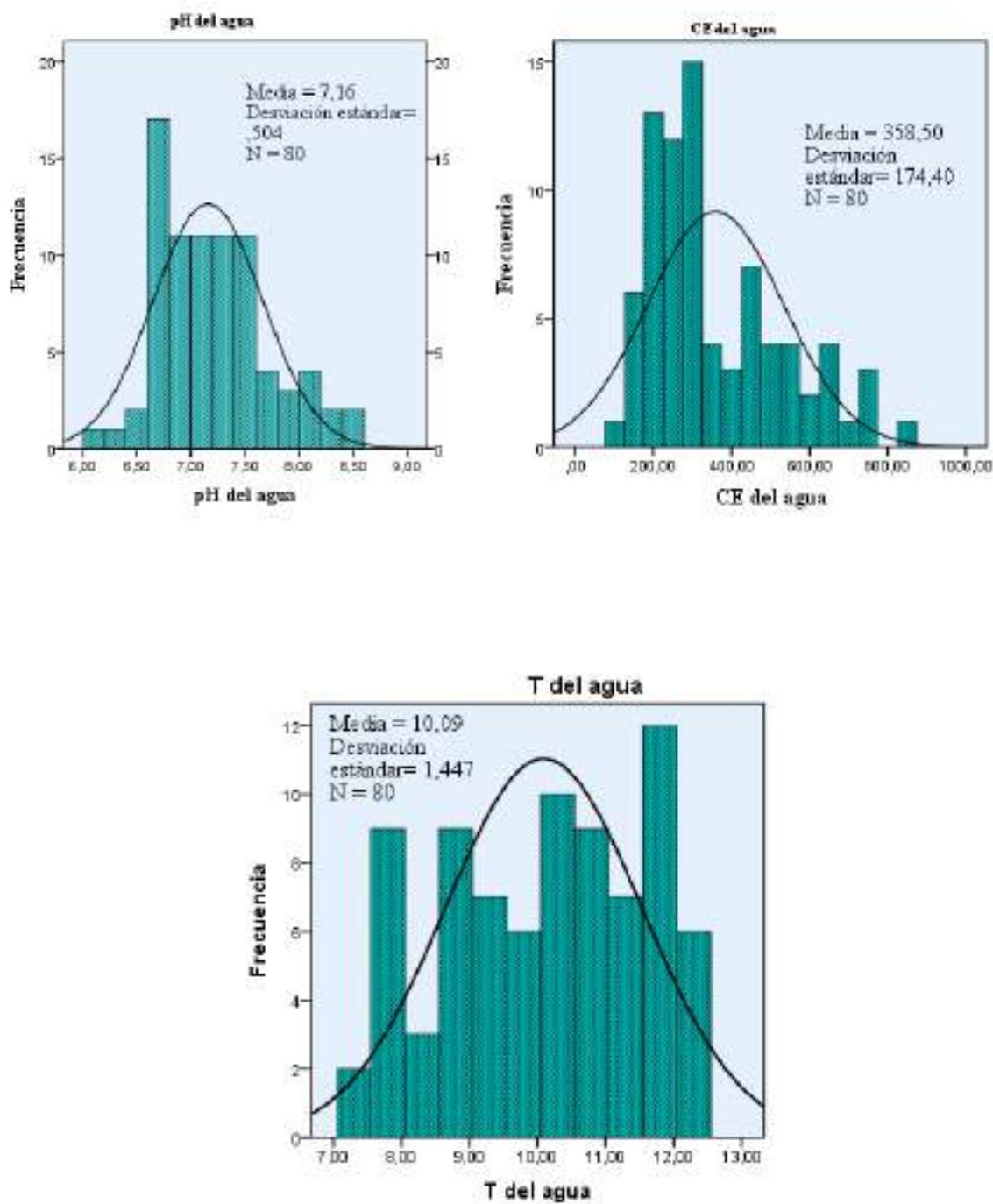
APÉNDICE 6

Gráficos de normalidad de los parámetros *in situ*



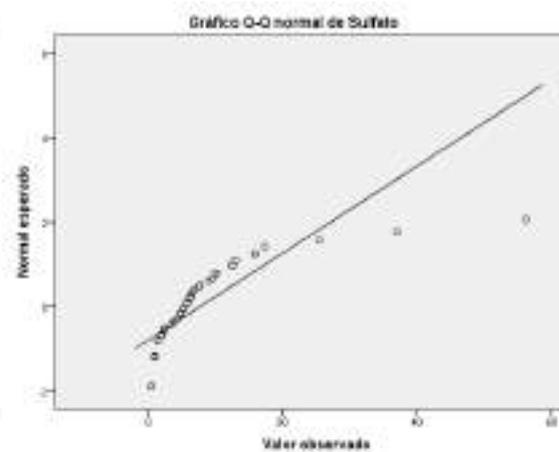
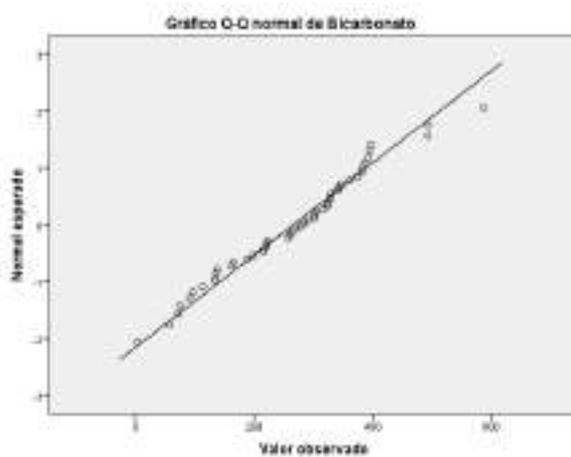
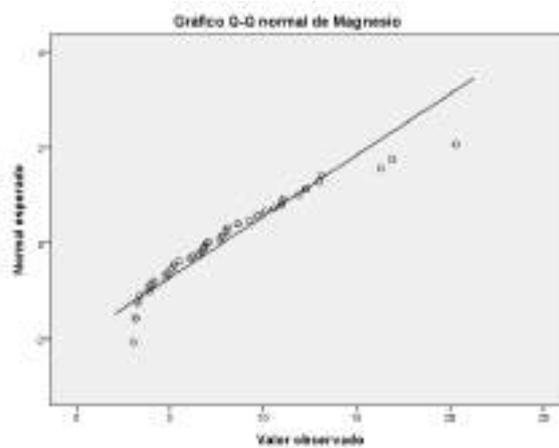
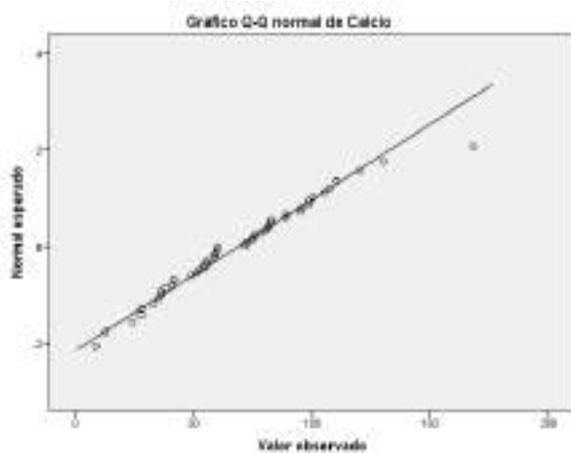
APÉNDICE 7

Histograma de los parámetros *in situ*



APÉNDICE 8

Gráficos de normalidad de los componentes químicos mayoritarios



APÉNDICE 9

Histograma de los componentes químicos mayoritarios

