

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y
APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y
APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA.”**

Realizado por:

CAROLINA NATHALY MACAS MORENO

Director del proyecto:

Dr. Miguel Martínez-Fresneda, Ph.D.

Codirectora del proyecto:

MSc. Teresa Muñoz

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 30 de julio de 2019

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES
SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, **CAROLINA NATHALY MACAS MORENO**, con cédula de identidad # 1723922827, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

FIRMA

1723922827

**CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES
SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES
SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA”**

Realizado por:

CAROLINA NATHALY MACAS MORENO

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

MIGUEL MARTINEZ-FRESNEDA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES
SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

JOSÉ SALAZAR

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 30 de julio de 2019

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA

Perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES
SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Para someter a:

To be submitted:

Caracterización hidroquímica de surgencias y aportantes superficiales del embalse

Salve Faccha

Carolina Macas¹, Miguel Martínez- Fresneda^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,
Quito, Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Dr. Miguel Martínez-Fresneda, Ph.D.,

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 3974800; email: mestre.martinez@uisek.edu.ec

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Resumen

El abastecimiento de agua a la población del Distrito Metropolitano de Quito es un eje fundamental en la gestión pública de la ciudad, por lo que requiere del monitoreo periódico de sus fuentes de suministro. El embalse Salve Faccha es un importante punto de captación, ubicado a 3 900 m.s.n.m. en una antigua caldera volcánica, presenta surgencias hidrotermales que pueden influir en su quimismo. Para identificar estas dinámicas se han realizado muestreos mensuales de la columna de agua del embalse, las mezclas de los tributarios y las surgencias de sus alrededores. Se han medido *in situ* los parámetros temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH y se han analizado los iones mayoritarios Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y S^{2-} . Las herramientas estadísticas e hidrogeoquímicas permitieron categorizar el agua subterránea, superficial y subsuperficial presente en el sistema y analizar sus variaciones espacio temporales.

Palabras clave: hidrogeoquímica, Salve Faccha, surgencias, embalse, iones.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Abstract

Water provision to the population of the Metropolitan District of Quito is a fundamental axis in the public management of the city, so it requires periodic monitoring of its supply sources. Salve Faccha dam is an important catchment point, located at 3 900 m a.s.l. in an old volcanic caldera. It presents hydrothermal upwelling that can influence the chemistry of the dam. To identify these dynamics, monthly sampling of the water column of the reservoir, the mixtures of the tributaries and the upwelling of their surroundings had been carried out. The parameters temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity and pH have been measured *in situ* and the major ions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and S^{2-} have been analyzed. The statistical and hydrogeochemical tools allowed the categorization of the underground, superficial and subsurface water present in the system and analyze its temporal and space variations.

Keywords: *hydrogeochemistry, Salve Faccha, upwelling, reservoir, ions.*

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Introducción

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el marco del Convenio de Cooperación entre el Fondo para la Protección del Agua de Quito y la Universidad Internacional SEK, como un requerimiento de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento del Distrito Metropolitano de Quito (FONAG, 2018), institución que participó de manera activa con el apoyo técnico y logístico del proyecto.

Este estudio forma parte de la segunda fase del proyecto “Quimismo y protección del agua invisible del Distrito Metropolitano de Quito” de la UISEK, conformado por tres ejes de trabajo que buscan estudiar los acuíferos dentro del Distrito Metropolitano de Quito, DMQ, y de las zonas de abastecimiento de agua para proponer medidas de gestión integral del recurso hídrico (Martinez-Fresneda, 2018).

La zona de estudio corresponde al embalse de alta montaña Salve Faccha, ubicado a 3 900 m.s.n.m., dentro la Reserva Ecológica Cayambe Coca, en Napo, Ecuador (Astinza, Cubero, & Posada, 2007). Esta zona ha sido concesionada a la EPMAPS para su uso consuntivo (Lasso, 2009) y forma parte del Proyecto de Optimización del Sistema Papallacta Integrado, cuyo fin es proveer de agua potable a la población de Quito (Maila, 2016).

El embalse de Salve Faccha ha sido formado a partir de la retención de agua del río Cunuyacu, permitiendo almacenar 10 500 000 m³ (Astinza et al., 2007) e integrar un caudal de 1000 L/s al caudal del Sistema Papallacta, para su tratamiento en la Planta de Bellavista o en la Planta Paluguillo, además de su aprovechamiento hidroeléctrico (EPMAPS, 2018).

El área de inundación para la formación del embalse corresponde a la parte interna de una caldera volcánica constituida por depósitos coluviales, aluviales, lavas y material piroclástico (Charro, 2002). La geología de la zona está constituida por lavas andesíticas y dacíticas negras, piroclastos riolíticos e ignimbritas (Pilicita, 2013), resulta

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

necesario conocer la composición de estos materiales para identificar los elementos químicos que pueden incorporarse al agua o modificar la dinámica agua-roca, por lo que se detallan estas características a continuación:

Tabla 1. Geología de Salve Faccha.

Roca	Mineral	Fuente
Andesita	Andesina Piroxeno	(The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2015a)
Dacita	Cuarzo Feldespato Anfibol Augita	(The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2015b)
Riolita	Cuarzo Feldespato potásico	(Universidad Politécnica de Madrid, 2012)

Realizado por: Carolina Macas.

Las reacciones entre el agua y el sustrato que se pueden presentar son intercambio iónico, fenómenos de óxido reducción, disolución y precipitación (Custodio, 1996). El intercambio iónico es un proceso relacionado principalmente a las arcillas y la materia orgánica asociadas al sustrato, debido a la disponibilidad de iones presentes en la superficie del suelo que pueden ser intercambiados fácilmente al entrar en contacto con el agua (Mora, Alcalá de Jesús, Rosas, & González, 2017). Los fenómenos de óxido reducción dan lugar a reacciones químicas que producen disolución o precipitación de iones al buscar llegar al equilibrio, modificando así la composición del agua (Saether & De Caritat, 1996).

El agua subterránea se define como aquella que fluye bajo el nivel freático en la zona saturada del suelo, a una presión mayor a la atmosférica; por el contrario, el agua subsuperficial se mantiene retenida en los espacios huecos del suelo por fuerzas de tensión (Andreson, 1987). El agua superficial se encuentra a presión atmosférica y comprende cuerpos de agua quietos o corrientes que se encuentran sobre las tierras emergidas (Roldán, 2012).

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Las características fisicoquímicas del agua subterránea dependen de varios factores, como los materiales que conforman el acuífero y el tiempo de contacto con el agua, la porosidad y/o fracturación de la roca, la temperatura y la presión (Custodio, 1996). Las aguas que circulan a mayor profundidad presentan una mayor temperatura y concentración de sales, produciendo un aumento en la conductividad eléctrica (Maclay & Winter, 2006).

Para confirmar la presencia de agua subterránea, Nelson (2002) indica que es fundamental medir los parámetros pH, temperatura y potencial REDOX. Además, la cuantificación de sustancias disueltas en el agua, como los iones mayoritarios: calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato y cloruro (López, Fornés, Ramos, & Villarroya, 2009).

Si bien la conductividad es un parámetro fundamental en la categorización del agua, Roldán (2012) indica que la influencia de corrientes marinas puede provocar conductividades superiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en cuerpos de agua superficial, cuando los valores típicos se encuentran entre 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La caracterización hidroquímica permite establecer un marco de partida para describir el comportamiento del agua (Custodio, 1996). Sin embargo, la segmentación de las diferentes fases del ciclo hidrológico es un concepto artificial que no reconoce las dinámicas del agua y se convierte en un obstáculo para gestionar adecuadamente los recursos hídricos (Andreson, 1987).

En Ecuador, la SENAGUA, entidad a cargo de la gestión de los recursos hídricos, ha establecido una serie de problemáticas de gobernanza; entre las cuales menciona el desconocimiento hidrogeológico de los acuíferos (Pérez-Cardozo, 2018). En este contexto se evidencia la necesidad de generar información técnica acerca del agua subterránea en el país.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Es así que se genera la siguiente hipótesis de investigación: “Existe influencia del agua subterránea en la composición química del agua del embalse Salve Faccha”, con el objetivo de caracterizar el quimismo del agua en el embalse mediante el análisis de datos fisicoquímicos y el origen hidrogeológico de las surgencias de agua para la adecuada gestión del recurso hídrico.

Métodos

Área de estudio

El área delimitada para el estudio comprende el embalse Salve Faccha y sus alrededores. Esta infraestructura fue construida desde 1998 hasta 2002 (Charro, 2002) y es actualmente gestionada por la EPMAPS.

En la Ilustración 1, están representadas las estaciones de muestreo que han sido monitoreadas a lo largo del proyecto de investigación.

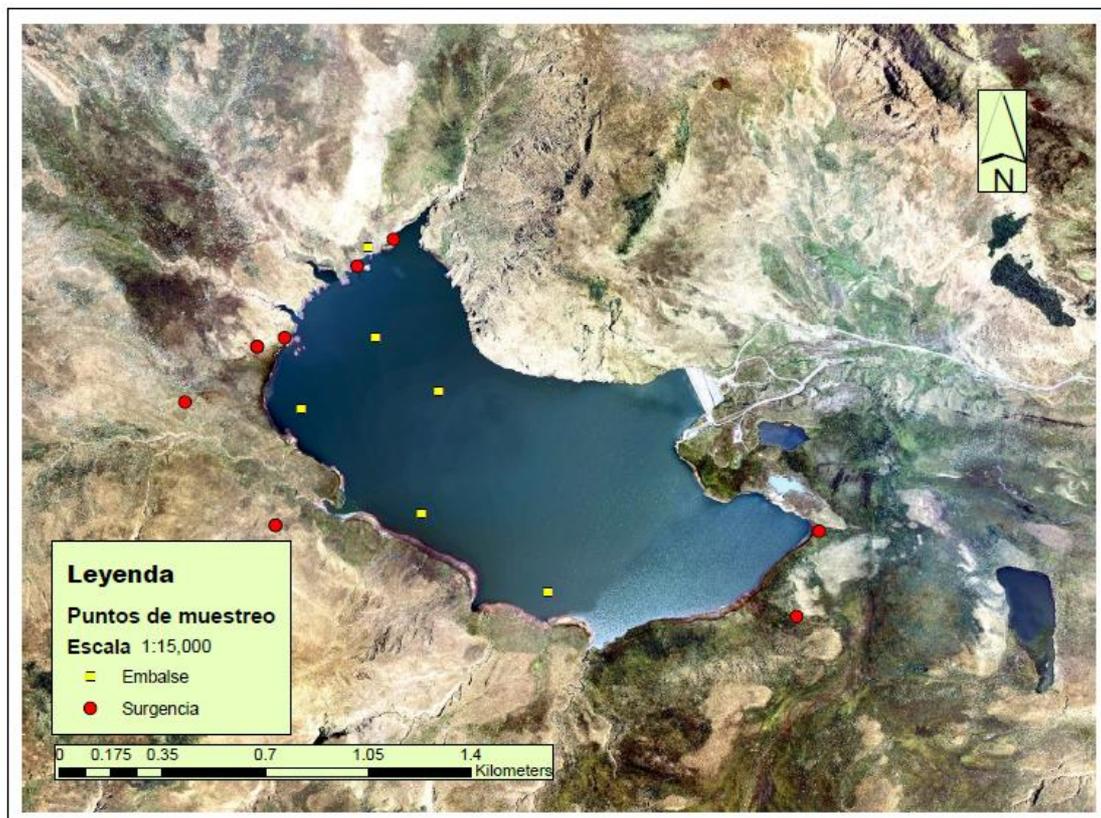


Ilustración 1. Estaciones de muestreo en el embalse Salve Faccha.

Realizado por: Carolina Macas.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Diseño muestral

El diseño de muestreo en el área de estudio se realizó considerando el embalse como un sistema abierto, cuyas entradas corresponden a los seis aportantes de agua superficial, las surgencias de agua subterránea y la precipitación.

El muestreo comprendió dos fases intercaladas; la primera consideró el aporte de agua superficial de los seis tributarios que alimentan el embalse, mientras la segunda correspondió a las surgencias de agua subterránea encontradas en sus alrededores.

La toma de muestras empezó en julio de 2018, obteniendo información de las surgencias de posible agua subterránea. En agosto del mismo año se realizó el primer muestreo del embalse y se continuó con este patrón de muestreos intercalados mensualmente hasta marzo de 2019.

Muestreo del embalse

Estuvo compuesto por seis estaciones monitoreadas pasando un mes. La estación denominada BOYA correspondió al punto más profundo del embalse, de donde se obtuvo muestras compuestas para representar la columna de agua. Las otras estaciones se denominaron M1, M2, M3, M4 y M5 y correspondieron a la mezcla entre los tributarios. Las características del muestreo de cada estación se explican en la siguiente tabla:

Tabla 2. Muestreo del embalse.

Estación	Tipo de muestra	Conformación de la muestra	Parámetros <i>in situ</i>
BOYA	Compuesta	Muestreo en superficie y cada dos metros de profundidad.	Medidos cada metro de profundidad.
M1	Simple	Muestreo en superficie, tributario 1 y 2.	Superficie
M2	Simple	Muestreo en superficie tributario 2 y 3.	Superficie
M3	Simple	Muestreo en superficie, tributario 3 y 4.	Superficie

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Estación	Tipo de muestra	Conformación de la muestra	Parámetros <i>in situ</i>
M4	Simple	Muestreo en superficie, tributario 4 y 5.	Superficie
M5	Simple	Muestreo en superficie, tributario 5 y 6.	Superficie

Realizado por: Carolina Macas.

En cada estación se midieron los parámetros *in situ* temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad con un medidor multiparamétrico HI 9829, previamente calibrado.

Muestreo de agua subterránea

El muestreo de agua subterránea se realizó pasando un mes y consistió en recorridos alrededor del embalse, donde se identificaron surgencias de agua con características termales, cada surgencia identificada correspondió a una nueva estación de muestreo. En estos puntos se midieron los parámetros *in situ* temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad.

El número de muestras obtenidas dependió de las condiciones temporales de la zona, debido a que en época seca disminuía el nivel del agua en el embalse y se encontraban nuevas estaciones, mientras otras desaparecían. En época lluviosa, las estaciones más cercanas al embalse fueron cubiertas y se encontraron nuevas estaciones de agua subsuperficial.

Análisis de precipitación

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la estación hidrometeorológica del FONAG, Yurafaccha Oyacachi, ubicada en Oyacachi, Napo, en las coordenadas 0°11'18'', 78°6'38,37''. Esta estación es la más cercana al embalse y cuenta con registros diarios de precipitación (Vera & Lahuatte, 2018), los cuales se analizaron para el periodo comprendido entre julio de 2018 y marzo de 2019.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Se consideraron los datos de precipitación mensual durante el periodo de muestreo y la precipitación diaria tomando en cuenta el día de muestreo y tres días anteriores a este, para identificar su influencia en el área de estudio.

Análisis de laboratorio

Se seleccionaron los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} para ser analizados en laboratorio, debido a su elevada presencia en aguas subterráneas. Además, se analizó el anión S^{2-} para determinar el estado de oxidación del agua. A continuación, se presentan los métodos utilizados en la determinación de los iones seleccionados y los laboratorios en los que se llevó a cabo.

Tabla 3. Métodos de análisis de laboratorio.

Laboratorio	Método	Compuesto
Universidad Internacional SEK	Espectrofotometría	Cl^- , SO_4^{2-} , S^{2-}
	Titulación	CO_3^{2-} , HCO_3^- , alcalinidad.
CESAQ-PUCE	Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama	Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}

Realizado por: Carolina Macas.

Análisis de datos

Los datos de la fase de muestreo y de laboratorio fueron analizados en el software AquaChem, para la determinación de características hidroquímicas de las muestras de agua obtenidas. Las herramientas utilizadas fueron los diagramas de Piper y los diagramas de Stiff.

El diagrama de Piper se compone por dos triángulos equiláteros que representan en sus vértices el 100% de cada ion. En el triángulo izquierdo se ubican los cationes Na^+ + K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y en el derecho los aniones Cl^- , SO_4^{2-} y CO_3^{2-} + HCO_3^- (Custodio, 1996). Estas concentraciones porcentuales se proyectan en un rombo que permite

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

identificar el tipo de agua y las relaciones entre agua y roca (Ravikumar, Somashekar, & Prakash, 2015).

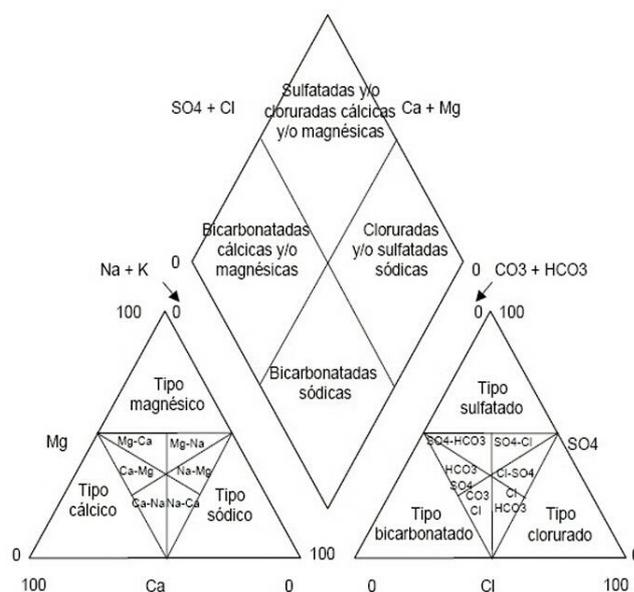


Ilustración 2. Diagrama de Piper.

Obtenido de: <https://www.tiloom.com/diagramas-de-piper/>

El diagrama de Stiff se forma a partir líneas horizontales paralelas divididas en la mitad por un eje vertical que permite graficar las concentraciones de los cationes (izquierda) y los aniones (derecha) bajo una misma escala determinada por la mayor concentración iónica en meq/L (Hounslow, 1995). Las concentraciones iónicas en cada eje forman un polígono característico para el tipo de agua, lo que permite una rápida visualización de su composición química (Lee, Adamson, & Vanderford, n.d.).

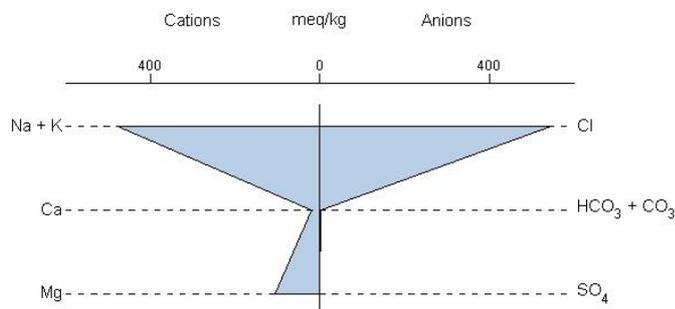


Ilustración 3. Diagrama de Stiff.

Obtenido de: <http://www.coalgeology.com/tag/geochemistry/>

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Además, se utilizó el software ArcGis para la representación espacial de los datos obtenidos.

Resultados

Producto de las campañas de muestreo se obtuvieron un total de 53 muestras, correspondientes a 21 estaciones, tanto del embalse como de las surgencias en sus alrededores. Los valores promedio de los parámetros medidos para cada estación de muestreo se presentan en el Anexo A.

El análisis de los datos consistió en determinar parámetros similares en las diferentes muestras de agua, de manera que se identifiquen rangos característicos para agua subterránea, subsuperficial y superficial y comprender sus dinámicas espacios temporales.

Los parámetros *in situ* obtenidos indican que la conductividad eléctrica y la temperatura de las muestras fueron menores en las estaciones del embalse, registrando valores promedio de 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 11 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Anexo B. Ilustración 1 e Ilustración. 3). Existen estaciones catalogadas como surgencia que presentaron un comportamiento similar a las del embalse, lo que puede indicar que las muestras obtenidas corresponden a agua subsuperficial. Las estaciones S5, N1, N2, S6, S4, S7, S8, S9 y S10 (Anexo B. Ilustración. 2 e Ilustración. 4) mantuvieron una misma tendencia de conductividad eléctrica y temperatura, pudiendo ser consideradas como agua subterránea.

En el caso del oxígeno disuelto, se esperó que las muestras del embalse se distribuyan en la parte superior, debido a que existe una relación indirecta con la temperatura. La variación promedio entre estaciones no fue representativa como en los parámetros anteriores, ubicándose en el orden de cuatro unidades (Anexo B. Ilustración. 6). Sin embargo, las estaciones BOYA, M1, M2, M3, M4 y M5 presentaron una

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

concentración de oxígeno disuelto superior a las otras estaciones. En la Ilustración 5 del Anexo B, se evidenciaron muestras del embalse distribuidas en el rango típico de las surgencias. Todas estas muestras fueron obtenidas en diciembre y fueron constantes tanto para las mezclas de los tributarios como para las diferentes profundidades de la boya.

En principio, para el análisis de iones, se graficó en un diagrama de Piper todas las muestras, sin diferenciación de su origen (embalse, surgencia) y se obtuvo la Ilustración 4. En ella se observa que en el triángulo inferior derecho existen dos agrupaciones de puntos. La primera agrupación se caracterizó por una elevada concentración relativa de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y una baja concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , estas muestras correspondieron únicamente a las surgencias. La segunda agrupación presenta una tipología sódica con una menor concentración que el grupo anterior. La disminución de Na^+ provocó que varias muestras se localicen en el centro del gráfico, indicando que la inexistencia de una tipología catiónica predominante.

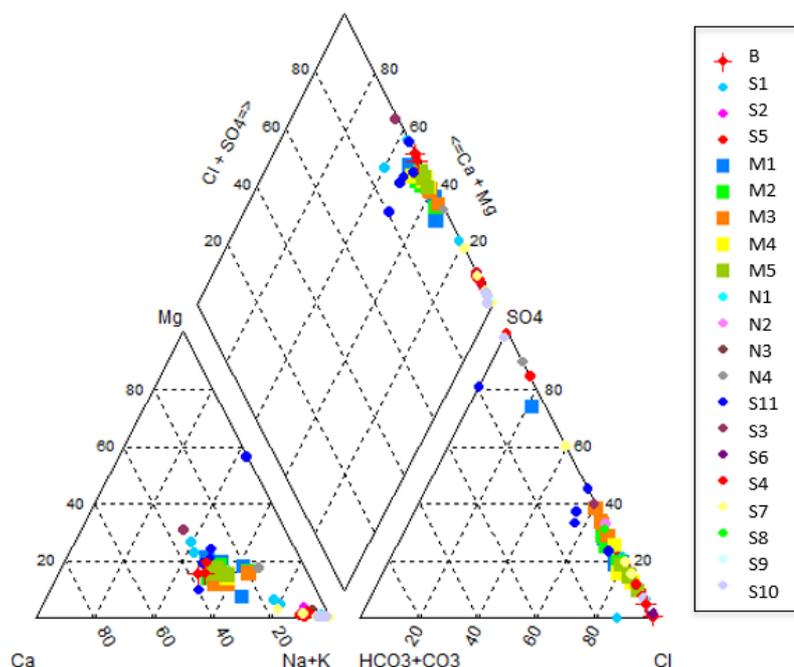


Ilustración 4. Composición iónica relativa de todas las muestras.

Realizado por: Carolina Macas.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Los aniones se distribuyeron de manera lineal entre una tipología clorurada y una sulfatada, indicando una mezcla de diferentes tipos de agua. La mayor parte de las muestras contuvo una elevada concentración de Cl^- . Existieron únicamente seis muestras de las surgencias y una muestra del embalse que presentaron una mayor concentración de SO_4^{2-} .

La proyección de estos iones indicó la existencia de facies cloruradas sódicas y sulfatadas cálcicas. Los iones Mg^{2+} y HCO_3^- no presentaron concentraciones predominantes en ninguna de las muestras obtenidas.

Posteriormente, se separaron las muestras del embalse (Anexo C, Ilustración 2) y las surgencias (Anexo C, Ilustración 4) y se graficaron los valores medios registrados para cada estación (Anexo C, Ilustración 3 e Ilustración 5), lo que permitió identificar volares atípicos.

Debido a que los diagramas de Piper representan una composición relativa de la muestra, fue necesario analizar los valores atípicos con otras herramientas como los diagramas de Stiff. En la Tabla 1 del Anexo D se esquematizó la distribución espacio temporal de todas estaciones representativas, es decir, aquellas que tuvieron información iónica de tres o más de muestreos.

En la Ilustración 3 del Anexo C, se identificó que todas las estaciones correspondieron a una tipología clorurada sódica. Sin embargo, en la Ilustración 2 del Anexo C se identificó una muestra de M1 (octubre) con una elevada concentración relativa de sulfato. Al analizar su composición (Anexo D, Tabla 3), fue evidente que no existieron variaciones importantes de este anión, presentando una concentración similar a las muestras de agosto y diciembre. En octubre, el cloruro disminuyó drásticamente, produciendo que el sulfato sea el anión más representativo a pesar de que su ligero aumento no compensó la pérdida del anión.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

La concentración de cationes en octubre mantuvo la relación $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ característica de la estación, no obstante disminuyó proporcionalmente entre seis y diez veces respecto de agosto y diciembre, respectivamente. Esta variación produjo que el balance iónico se desplace hacia los aniones, comportamiento contrario a agosto y diciembre que presentó mayor concentración de cationes.

Sin considerar la muestra de octubre de M1, los datos de todas las estaciones correspondientes a mezcla entre tributarios tuvieron una concentración iónica relativa similar que sugirió una facie clorurada sódica (Anexo C. Ilustración 3). Visualmente, se pudo distinguir que todas las estaciones se relacionaron iónicamente, tanto en el espacio como en el tiempo (Anexo D. Tabla 1).

Existen ligeras variaciones espaciales como la disminución de cationes en M3 y de sulfatos respecto de los cloruros a partir de M4, patrón que se repitió en cada mes de muestreo. Estos cambios no alteraron las características del agua de mezcla, es decir, una mayor proporción de Cl^- y Na^+ , seguido por SO_4^{2-} y Ca^{2+} y una proporción muy baja de HCO_3^- y Mg^{2+} . En cuanto al equilibrio iónico, la mayoría de las muestras tuvo una mayor concentración catiónica, mientras las muestras de M3 fueron las más cercanas al equilibrio entre cationes y aniones.

Todas las muestras del embalse fueron catalogadas de acuerdo con una tipología clorura sódica, incluyendo la estación BOYA, a pesar de que su composición aniónica no fue visualmente parecida a las estaciones de mezcla. Las muestras compuestas de la columna de agua presentaron una concentración de cloruros mucho mayor a todos los aniones medidos, mostrando un desbalance iónico hacia los aniones. El catión mayoritario fue el sodio, no obstante, el calcio se aproximó a esta concentración.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Existió un valor atípico en esta estación para el mes de agosto. La concentración de cationes fue igual a octubre y noviembre pero no presentó una elevada concentración de cloruro. Los iones se distribuyeron de manera uniforme, equilibrándose iónicamente.

En esta estación se midió parámetros fisicoquímicos a cada metro de profundidad obteniendo perfiles de la columna de agua que permitieron explicar el estado del embalse. En los meses de muestreo el calado se mantuvo constante en 10 m durante agosto y octubre y aumentó un metro en diciembre, debido a la precipitación.

El perfil de pH (Anexo B. Ilustración 7) y el perfil de conductividad eléctrica (Anexo B. Ilustración 8) no presentaron variaciones en profundidad, indicando que el embalse se encontraba en estado de mezcla. Los perfiles de temperatura (Ilustración 5) y oxígeno disuelto (Ilustración 6) mostraron el mismo comportamiento en diciembre y presentaron estratificaciones en agosto y octubre.

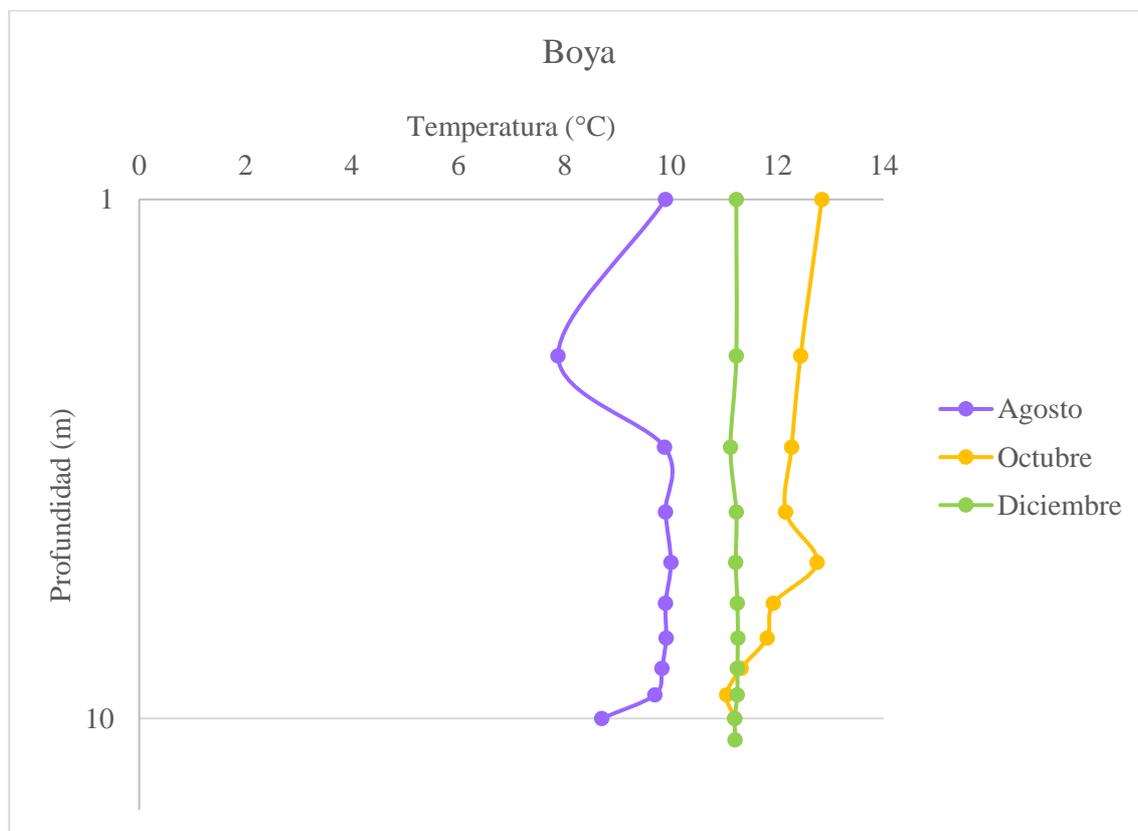


Ilustración 5. Perfiles de temperatura de la boya.

Realizado por: Carolina Macas.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

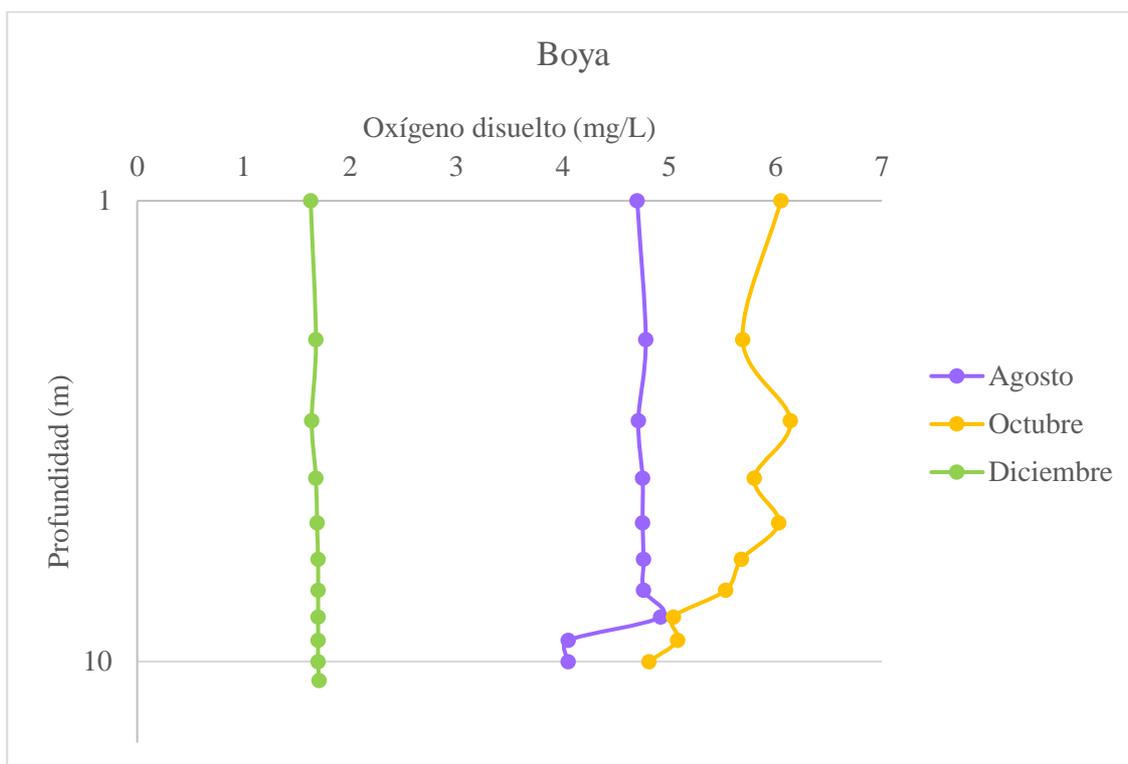


Ilustración 6. Perfiles de oxígeno disuelto de la boya.

Realizado por: Carolina Macas.

El oxígeno disuelto medido en agosto indicó un estado de mezcla hasta los 7 m, cuando se registró un aumento que pudo estar relacionado con la disminución de temperatura. A partir del octavo metro de profundidad, el oxígeno disuelto disminuyó drásticamente, debido a las posibles condiciones anaerobias producidas por la descomposición de materia orgánica en el fondo del embalse.

En octubre, el oxígeno disuelto mostró un comportamiento estratificado que disminuyó con la profundidad y aumentó al disminuir la temperatura. Ambos parámetros registran sus valores menores a mayor profundidad, debido a la menor incidencia de radiación solar que llegó a esta zona, reduciendo la presencia de organismos fotosintéticos y promoviendo la anaerobiosis.

Por otro lado, las surgencias analizadas mostraron características muy distintas entre ellas, pudiendo identificarse grupos de agua clorurada sódica y sulfatada cálcica

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

(Anexo C. Ilustración 4.). En el caso de los cationes, los datos presentaron una distribución en dos grupos definidos. El primero presentó una elevada concentración relativa de sodio y se desplazó hacia una mayor concentración de calcio y magnesio. Sin embargo, la mayor parte de las muestras correspondieron a una tipología sódica. Por el contrario, los aniones se distribuyeron linealmente entre una tipología sulfatada y una clorurada, siendo esta última la más representativa. En el caso de los bicarbonatos, no se observaron muestras en las que este ion sea característico.

En seis estaciones de surgencias se muestreo en tres o más ocasiones, por lo que fueron catalogadas como representativas. La primera estación es S1, ubicada en la parte sureste del embalse y su geología corresponde a depósitos glaciares. En la Ilustración 2. del Anexo C. se encuentra representada su composición iónica a lo largo del tiempo, para lo cual todas las muestras deben ser graficadas en la misma escala, con base en el valor más alto de concentración. Durante marzo, la concentración de cloruros se ubicó en el orden de 9 meq/L, lo que provocó que bajo esta escala no se pueda observar el esquema de julio y noviembre, con concentraciones menores a 2 meq/L.

Los gráficos de estos dos meses mostraron una composición catiónica elevada de sodio, con valores similares para el calcio y una proporción ligeramente menor de magnesio. En marzo, el sodio se mantuvo como el catión mayoritario pero las concentraciones de calcio y magnesio fueron mucho menores. En el caso de los aniones, el cloruro fue mayoritario en los tres meses, el sulfato disminuyó en julio y marzo, desapareció en noviembre; pero se compensó con un aumento de bicarbonatos. Este anión fue nulo en julio y marzo.

La estación S5 está ubicada al norte del tercer tributario y presenta una geología de lava indiferenciada y piroclastos. Su composición varió mensualmente de forma intercalada, las muestras de julio y noviembre presentaron una elevada concentración de

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

sodio y cloruro y una baja concentración de los demás iones, dispuestos de manera simétrica. En septiembre y enero, la distribución catiónica permaneció igual a los otros meses, mientras la concentración iónica varió con la disminución de cloruros y el aumento de sulfatos. No obstante, este aumento no fue igual a los aniones perdidos, por lo que se produjo un desbalance iónico.

Las estaciones S6 y S7 se encontraron al noroeste del embalse, entre el tercer y cuarto tributario y presentaron una geología de lavas y piroclastos. La mayoría de las muestras de S6 estuvieron iónicamente equilibradas, exceptuando las de noviembre de marzo que tuvieron un aumento de cloruros. Los muestreos de noviembre, enero y marzo mostraron una mayor concentración iónica que las muestras de julio y septiembre.

En S7 las muestras tuvieron un comportamiento menos regular, ya que en julio el equilibrio iónico fue alterado por una mayor concentración de cloruro, septiembre y noviembre presentaron una misma proporción de aniones y cationes, en enero se redujo la concentración de cloruros y aumentaron los sulfatos, cambiando la tipología del agua a sulfatada sódica y en marzo se produjo un desbalance iónico debido a la concentración de sodio.

S10 y S11 se ubican al norte del embalse, entre el primer y segundo tributario y cuenta con una geología de lavas indiferenciadas y piroclastos. La estación S10 presentó un agua clorurada sódica cuya concentración iónica varió en el tiempo. En septiembre, el balance iónico presentó una tendencia hacia los cationes y en noviembre, hacia los aniones. En enero, las muestras estuvieron en equilibrio iónico, siendo el sodio y el cloruro los iones representativos.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

En la estación S11 se observó un comportamiento atípico para las estaciones de surgencias, su esquematización no se asemejó a las estaciones del embalse, por lo que se analizó independientemente (ver Anexo D. Tabla 4).

La composición catiónica relativa mostró una disposición lineal no dominante con tendencia sódica. En marzo, el agua tuvo características magnésicas predominantes, el sodio presentó una concentración elevada, mientras calcio fue nulo. Este comportamiento distó de otras surgencias encontradas, en cuya concentración catiónica el magnesio no fue un ion representativo. En los otros meses de muestro se observó un comportamiento similar a las surgencias ya analizadas, con una elevada concentración de sodio, similar a la concentración de calcio y una concentración magnésica inferior, pero representativa.

En estas muestras, el anión predominante fue el cloruro, sin embargo, la concentración de sulfatos fue cercana en enero y marzo. En octubre, el sulfato se encontró en mayor proporción, seguido por el bicarbonato y una nula concentración de cloruro. La concentración de sulfatos en esta muestra no reemplazó los valores perdidos por cloruro, de hecho, fue similar a la concentración registrada para durante los otros meses de muestreo.

En esta estación, los diagramas distaron visualmente de las demás (Anexo D. Tabla 1.), debido a la elevada concentración de cationes, no solo sodio, sino también calcio y magnesio.

Discusión

La caracterización de las surgencias y aportantes del embalse Salve Faccha permitió identificar variaciones importantes de los parámetros medidos en cada tipo de muestra, de manera que permitieron discretizar los tipos de agua presentes en el sistema. La temperatura, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y el contenido de iones presentaron valores característicos entre el agua del embalse y de las surgencias. Así, se registraron valores

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

promedio de 11°C, 4 mg/L de oxígeno disuelto, 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 10 ppm Na^+ y 18 ppm Cl^- en el embalse, siendo los iones más representativos del estudio. Por otro lado, los valores promedio en las surgencias fueron de 34°C, 1,9 mg/L de oxígeno disuelto, 2729,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 408 ppm Na^+ y 553 ppm Cl^- .

La elevada temperatura encontrada en las surgencias, con valores máximos de 55,3 °C, está relacionada al geotermalismo de la zona, donde existen fallas geológicas que incrementan la temperatura del agua en función del gradiente geotérmico. Este fenómeno incide en la baja cantidad de oxígeno registrado, debido a la dificultad de disolución de gases a temperaturas altas. Lo contrario ocurrió en el embalse, cuya temperatura depende de los tributarios y de factores meteorológicos como la precipitación y la incidencia de radiación solar.

La conductividad eléctrica se asocia a la cantidad de iones presentes en el agua, debido su capacidad para transportar energía eléctrica. Una mayor conductividad eléctrica caracterizó a las surgencias, ya que el mayor tiempo de contacto entre el agua y el medio rocoso promovió la incorporación de iones al medio líquido.

Utilizando estos parámetros, se puede indicar que las estaciones S1 y S11 corresponden a agua subsuperficial. Su temperatura varió entre los 11°C y 17°C, el oxígeno disuelto entre 1,5 mg/L y 5,5 mg/L, los contenidos de Na^+ y Cl^- fueron inferiores a 6 ppm y la conductividad eléctrica fue inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en la mayoría de los casos. En los meses de septiembre y marzo, el comportamiento de estas estaciones cambió con un aumento de conductividad eléctrica asociado a una elevada concentración de sulfatos (septiembre), sodio y cloruro (marzo).

En septiembre, el sulfato fue el ion mayoritario de S11, debido a la disminución de cloruro en comparación a otras fechas de muestreo; este cambio puede relacionarse con la nula precipitación registrada desde dos días antes del muestreo. En marzo, aumentó el contenido de sodio y cloruro en la estación S1, modificando la distribución iónica característica de la estación en julio y noviembre. La precipitación registrada durante los tres días antes del muestreo fue 24,7 mm (julio), 21,1 mm (noviembre) y 4,8 mm (marzo), lo que pudo modificar los fenómenos de meteorización.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Las estaciones S5, S6, S7 y S10 cumplieron con los parámetros previamente establecidos para aguas subterráneas y presentaron una tipología clorurada sódica durante todos los meses de muestreo. La variación más representativa en estas muestras fue la disminución de aniones o cationes respecto de los valores habituales de las estaciones, la cual puede estar relacionada con la precipitación.

La disminución de cationes se dio en la estación S7 en julio y en S10 en noviembre, meses que corresponden a las mayores precipitaciones registradas para muestreo de surgencias, con 24,7 mm y 21,1 mm en cada mes. La disminución de aniones más frecuente tuvo lugar en S5 (septiembre, marzo), S10 (septiembre), S7 (enero, marzo) y estuvo asociada a los meses de menor precipitación (2,2 mm en septiembre, 13,1 mm en enero y 4,8 mm en marzo).

Las estaciones del embalse mostraron un comportamiento similar tanto en los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* como en la concentración iónica. La variación registrada en M1 en octubre puede deberse a errores de muestreo de análisis en laboratorio, ya que si bien en este mes se registró una precipitación muy baja (0,1 mm), no se evidencia un cambio significativo en las otras estaciones.

A pesar de que la tipología del embalse fue definida como clorurada sódica, en la boya y los tributarios la distribución de cationes y el balance iónico fueron distintas. Esto pudo ocurrir porque la carga catiónica de M1-M5 estuvo asociada a la composición del agua de los tributarios, mientras la boya tuvo mayor influencia de la precipitación.

Los procesos de intercambio iónico, precipitación y dilución pudieron ser distintos entre las surgencias (relación agua-roca) y los tributarios (relación suelo-roca), debido al diferente estado de meteorización; resultando en una misma tipología para las surgencias y el agua del embalse con diferentes proporciones catiónicas.

Conclusiones

La categorización del origen del agua (subterráneo, superficial o subsuperficial) se puede llevar a cabo con base en parámetros fisicoquímicos como temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, si se conoce la geología y las condiciones climáticas de la zona de

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

estudio, debido a que estos datos permiten establecer un marco de referencia sobre los posibles resultados esperados.

En el caso de Salve Faccha, fue necesario conocer que el embalse se encuentra sobre una antigua caldera volcánica para comprender que la elevada concentración de cloruro tanto en el agua del embalse como en las surgencias puede proceder de gases volcánicos. Además, se relaciona con una geología compuesta por rocas ígneas, que en conjunto con la presencia de fallas tectónicas permiten establecer que el agua de las surgencias tendrá temperaturas altas.

Vincular datos pluviométricos permitió inferir su posible efecto en la composición iónica del agua, por lo que se recomienda realizar caracterizaciones iónicas del agua de precipitación, para identificar su dinámica con el agua del embalse y las surgencias. Parámetros meteorológicos como velocidad del viento y radiación también se pueden incluir en estudios posteriores para comprender el comportamiento de la columna de agua del embalse, mediante la identificación de su influencia en procesos de mezcla o estratificación.

Se estableció que iónicamente las muestras del embalse y de las surgencias tuvieron una composición iónica similar, resultando en una misma tipología (clorurada sódica) para el sistema. Sin embargo, se evidenció variaciones espacio temporales, desbalances iónicos y diferentes relaciones en la proporción de aniones y cationes entre las estaciones; como la mayor concentración de calcio y magnesio en agua superficiales y subsuperficiales, contrario al agua subterránea.

Por lo tanto, se puede inferir que el sodio estaba asociado a la roca y su mayor contacto con el agua subterránea produjo que este catión se encuentre en mayor proporción. Debido a que el agua de los tributarios también estaba en contacto con un sustrato de composición similar a la roca, este aportaba con contenidos elevados de sodio, pero también de otros cationes.

Es así que, se concluye, que el agua subterránea no incide en la composición química del agua del embalse, debido a que su caudal no es representativo frente al volumen de agua que conforma el embalse. Si bien presentan una distribución iónica similar, esta no se origina por un aporte de agua subterránea, sino porque las surgencias y el embalse comparten una misma geología.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Bibliografía

- Andreson, M. (1987). Hydrogeologic Framework for Groundwater Protection. In W. Page (Ed.), *Planning for Groundwater Protection* (pp. 1–24). Londres: ACADEMIC PRESS INC.
- Astínza, M., Cubero, L., & Posada, A. (2007). Agua y Globalización: Tensiones y Balances Asociados al Recurso Hídrico en Ecuador: El Caso de los Páramos del Cantón Quijos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(10), 39–51.
- Charro, C. (2002). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA SALVE FACCHA, DENTRO DE LA RESERVA CAYAMBE - COCA*. Universidad Internacional SEK.
- Custodio, E. (1996). Sección 10. In E. Custodio & M. Llamas (Eds.), *Hidrología subterránea* (Segunda, pp. 1009–1157). Barcelona: Omega, S.A.
- EPMAPS. (2018). Papallacta: Información general. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.aguaquito.gob.ec/1381-2/>
- FONAG. (2018). *INFORME DE CUMPLIMIENTO DE METAS PLAN DE MONITOREO 2018*. Quito.
- Hounslow, A. (1995). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. LEWIS PUBLISHERS.
- Lasso, G. (2009). *Guión Turístico de la Reserva Ecológica Cayambe - Coca*.
- Lee, R., Adamson, D., & Vanderford, M. (n.d.). *Visual Methods for Geochemical Screening of Possible Impacts to Groundwater by Oilfield Brines*.
- López, J., Fornés, J., Ramos, G., & Villarroja, F. (2009). Las aguas subterráneas Un recurso natural del subsuelo. In I. G. y M. De & España (Eds.), *Instituto Geológico y Minero de España* (4ta ed.). Madrid.
- Maclay, R., & Winter, T. (2006). Geochemistry and Ground-Water Movement in Northwestern Minnesota. *Ground Water*, (5), 11–19. <https://doi.org/10.1111/j.1745->

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

6584.1967.tb01233.x

- Maila, R. (2016). *Propuesta de un modelo de control de gestión , aplicado en empresas públicas de agua potable Caso : EPMAPS Quito - Departamento de Captaciones y Conducciones*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Martinez-Fresneda, M. (2018). *INSTRUCTIVO PROPUESTA DE PROYECTO DE I+D*. Quito.
- Mora, J., Alcalá de Jesús, M., Rosas, M., & González, J. (2017). *Capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica en el suelo*. Retrieved from http://congresos.cio.mx/14_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S1/S1-BYQ16.pdf
- Nelson, D. (2002). Natural Variations in the Composition of Groundwater. *Oregon Department of Human Services Drinking Water Program*, 3–7.
- Pérez-Cardozo, G. S. (2018). Gobernanza y gobernabilidad. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(1), 101–102. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.70693>
- Pilicita, B. (2013). *Estudio de fuentes termales, fallas geológicas, descarga de calor en la caldera de Chacana y el aprovechamiento actual del recurso Geotérmico*. Escuela Politécnica Nacional.
- Ravikumar, P., Somashekar, R., & Prakash, K. (2015). A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin , Karnataka , India. *Elixir International Journal*, 80(2015), 6.
- Roldán, G. (2012). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. In *Revista Biocenosis*. Bogotá.
- Saether, O., & De Caritat, P. (1996). *Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments* (CRC Press, Ed.). Rotterdam: A.A. Balkema.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2015a). Andesite. Retrieved July 10, 2019, from <https://www.britannica.com/science/andesite>

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2015b). Dacite. Retrieved July 10, 2019, from

Encyclopædia Britannica website: <https://www.britannica.com/science/dacite>

Universidad Politécnica de Madrid. (2012). Riolita. Retrieved July 10, 2019, from

<http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/Edafologia/aplicaciones/GIMR/archive.php?q=7f01f5f56a0>

Vera, A., & Lahuate, B. (2018). *Anuario Hidrometeorológico 2018*. Quito.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla 1. Parámetros promedio de todas las estaciones.

Estación	pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁺ (mg/L)	S ²⁻ (mg/L)
BOYA	6.1	11.00	110.95	3.94	8.15	1.90	1.55	5.60	43.95	38.18	0.0004
M1	6.8	10.49	115.50	3.57	8.06	1.76	1.79	4.03	10.50	47.05	0.017
M2	6.2	11.36	102.50	4.41	10.23	2.23	1.76	5.13	13.96	115.76	0.015
M3	6.2	11.36	111.33	4.27	11.26	2.66	1.46	5.33	15.33	46.52	0.032
M4	6.8	11.53	112.00	4.41	10.50	2.40	1.76	5.50	17.53	99.56	0.049
M5	6.8	11.45	109.16	4.35	11.13	2.50	1.93	5.90	17.13	26.79	0.021
S1	5.5	12.82	235.15	2.63	36.40	6.40	1.76	7.13	104.83	9.66	0.015
S2	5.3	10.50	23.00	1.80	45.70	7.10	1.10	3.40	210.00	52.00	0.020
S3	5.6	10.20	85.50	3.48	2.90	0.90	1.60	2.90	55.00	154.94	0.024
S4	4.6	26.39	1256.50	1.41	90.00	14.80	1.20	5.90	156.50	88.47	0.011
S5	5.9	51.86	4993.00	0.89	586.97	93.85	3.27	48.27	542.77	176.39	0.016
S6	5.3	33.11	2586.70	1.77	447.90	80.52	2.18	15.16	1232.80	75.58	0.020
S7	5.5	47.24	3977.60	1.11	672.96	108.06	2.42	18.22	456.80	221.25	0.014
S8	5.9	47.60	5732.50	1.30	549.30	83.50	1.40	5.40	40.00	310.49	0.014

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Estación	pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁺ (mg/L)	S ²⁻ (mg/L)
S9	5.8	42.40	6050.00	1.66	411.90	61.20	1.10	5.10	685.00	394.06	0.027
S10	5.4	45.74	4737.66	2.78	652.80	101.65	2.15	15.80	776.70	176.22	0.020
S11	5.3	14.78	74.25	2.49	3.62	1.47	1.20	2.30	2.45	37.58	0.013
N1	5.6	20.73	2430.00	3.90	410.50	61.80	2.90	8.60	990.00	28.00	0.013
N2	5.5	25.51	965.00	2.32	141.20	24.00	1.60	7.40	180.20	120.00	0.018
N3	5.4	13.45	9.97	1.69	155.80	16.20	2.80	6.80	365.00	18.00	0.006
N4	5.4	10.95	18.00	1.85	4.60	0.80	0.70	1.00	3.10	36.00	0.018

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

ANEXO B

Ilustración 1. Conductividad eléctrica de todas las muestras obtenidas.

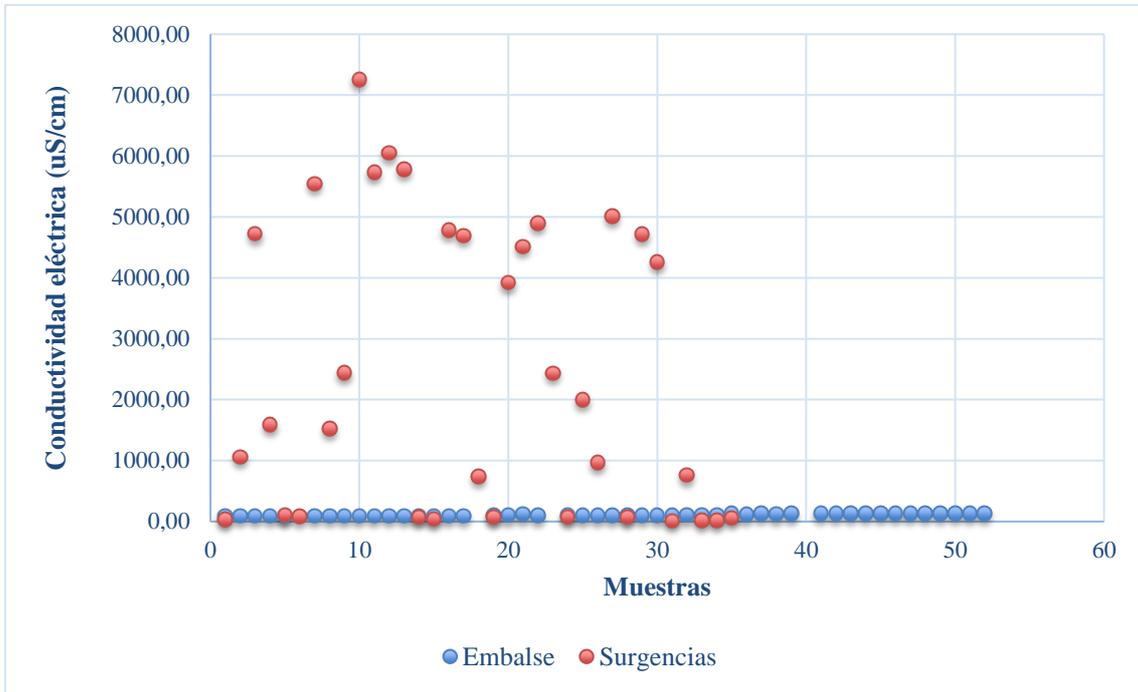
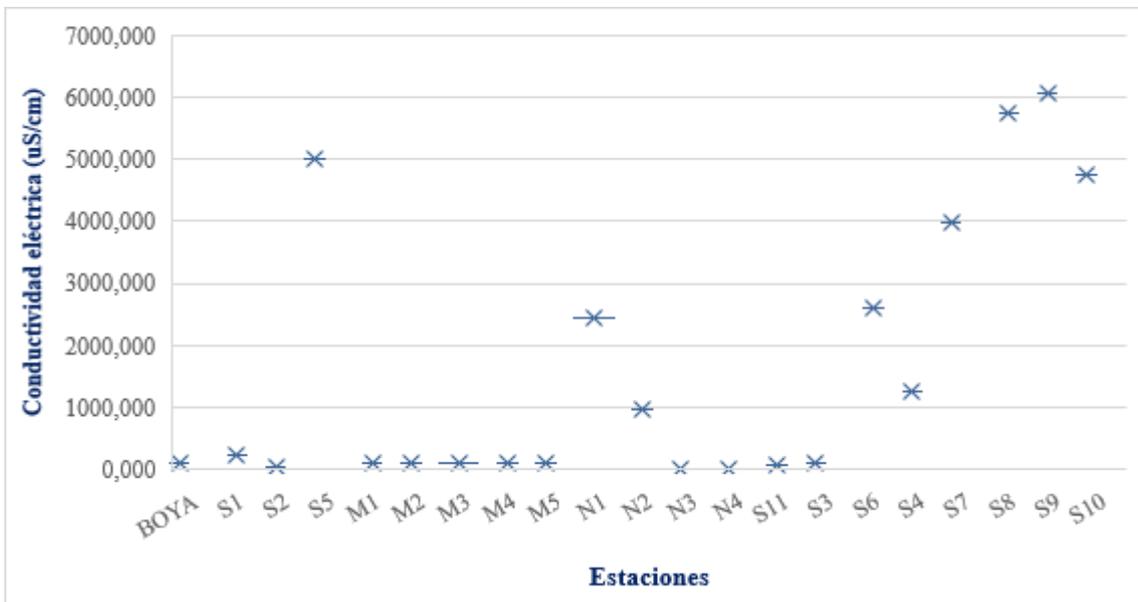


Ilustración 2. Conductividad eléctrica promedio de cada estación.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 3. Temperatura de todas las muestras obtenidas.

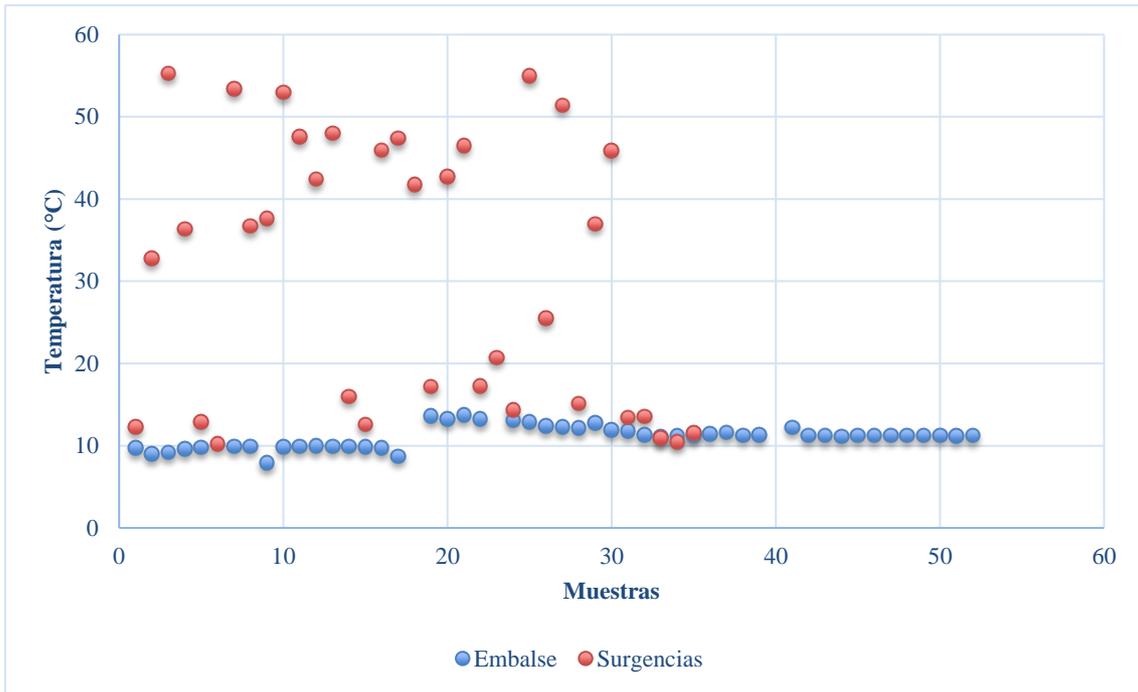
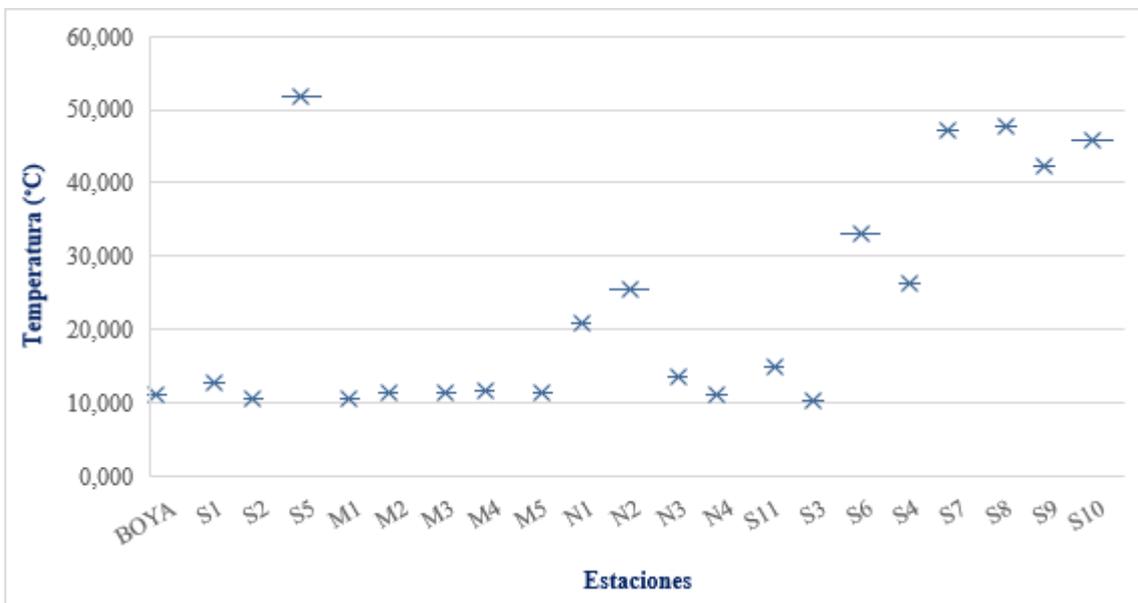


Ilustración 4. Temperatura promedio de cada estación.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 5. Oxígeno disuelto de todas las muestras obtenidas.

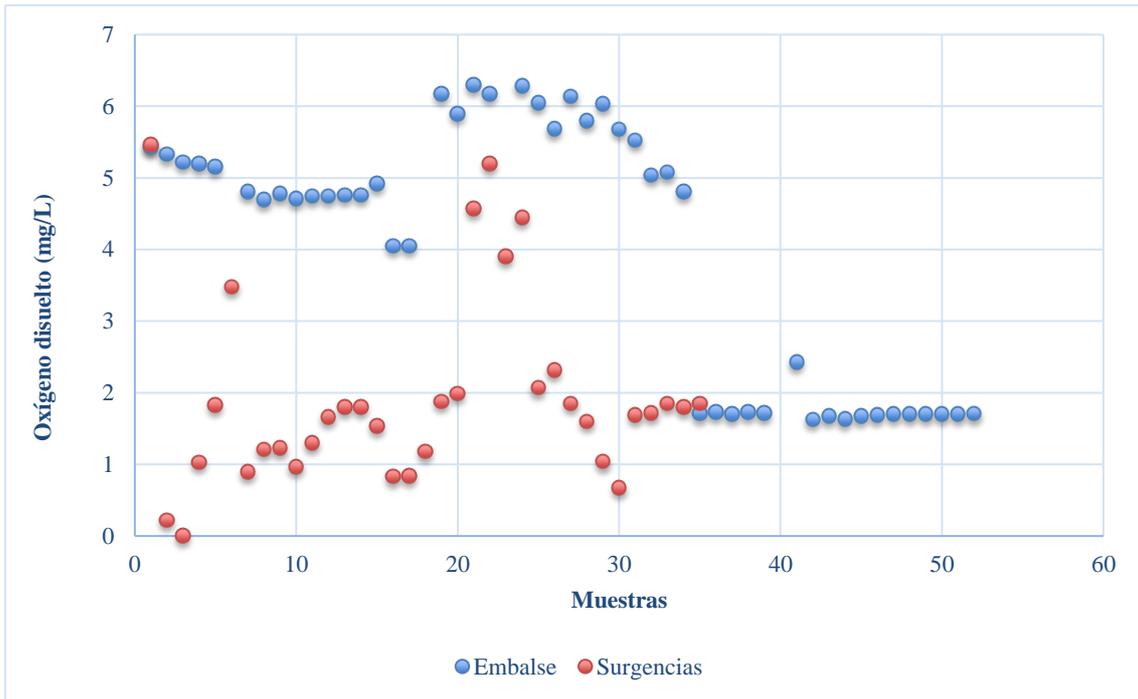
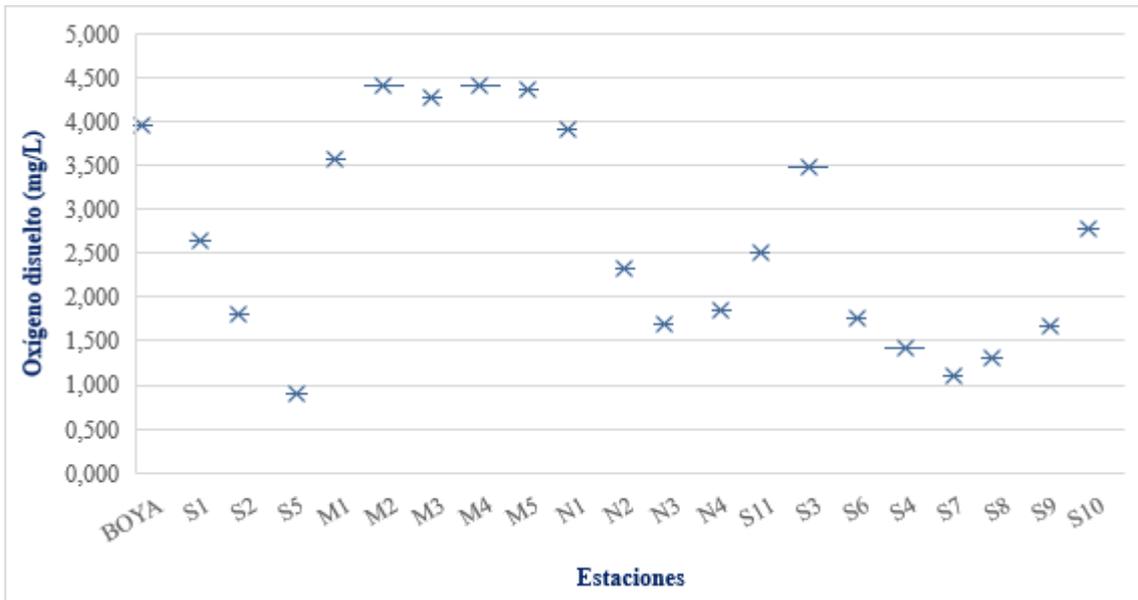


Ilustración 6. Oxígeno disuelto promedio de cada estación.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 7. Perfiles de pH de la boya.

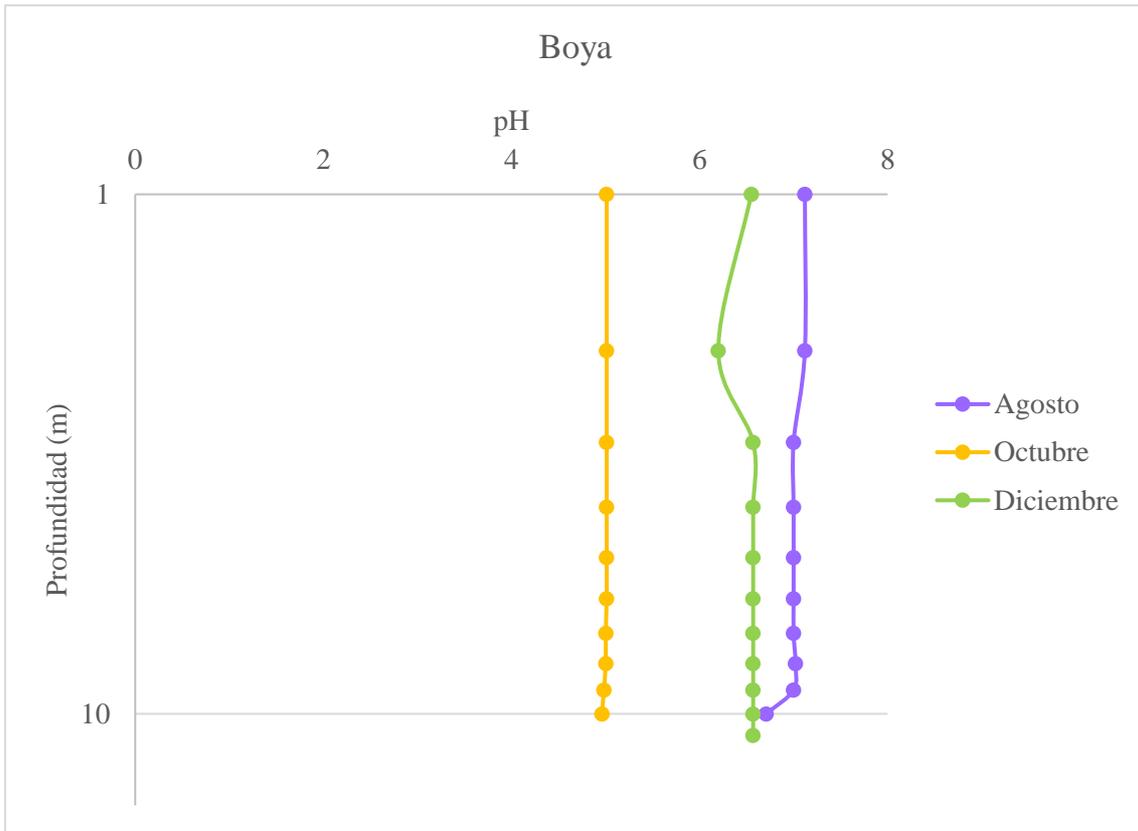
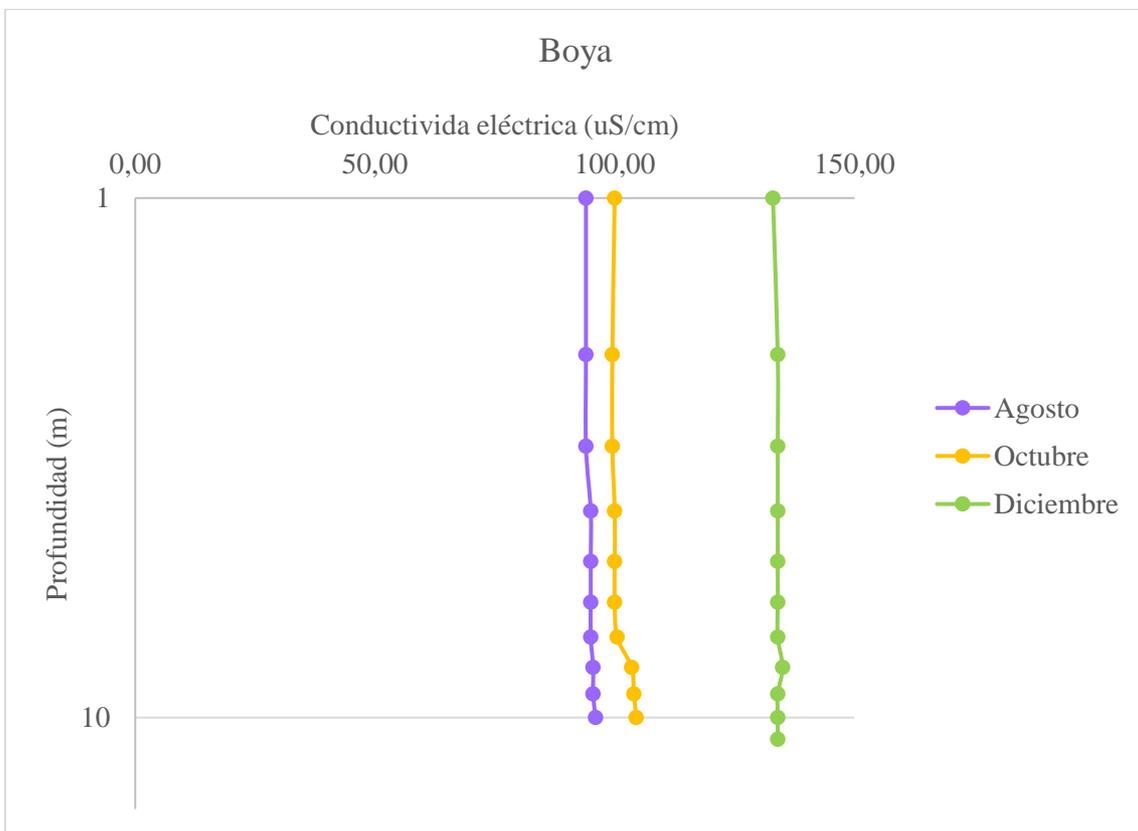


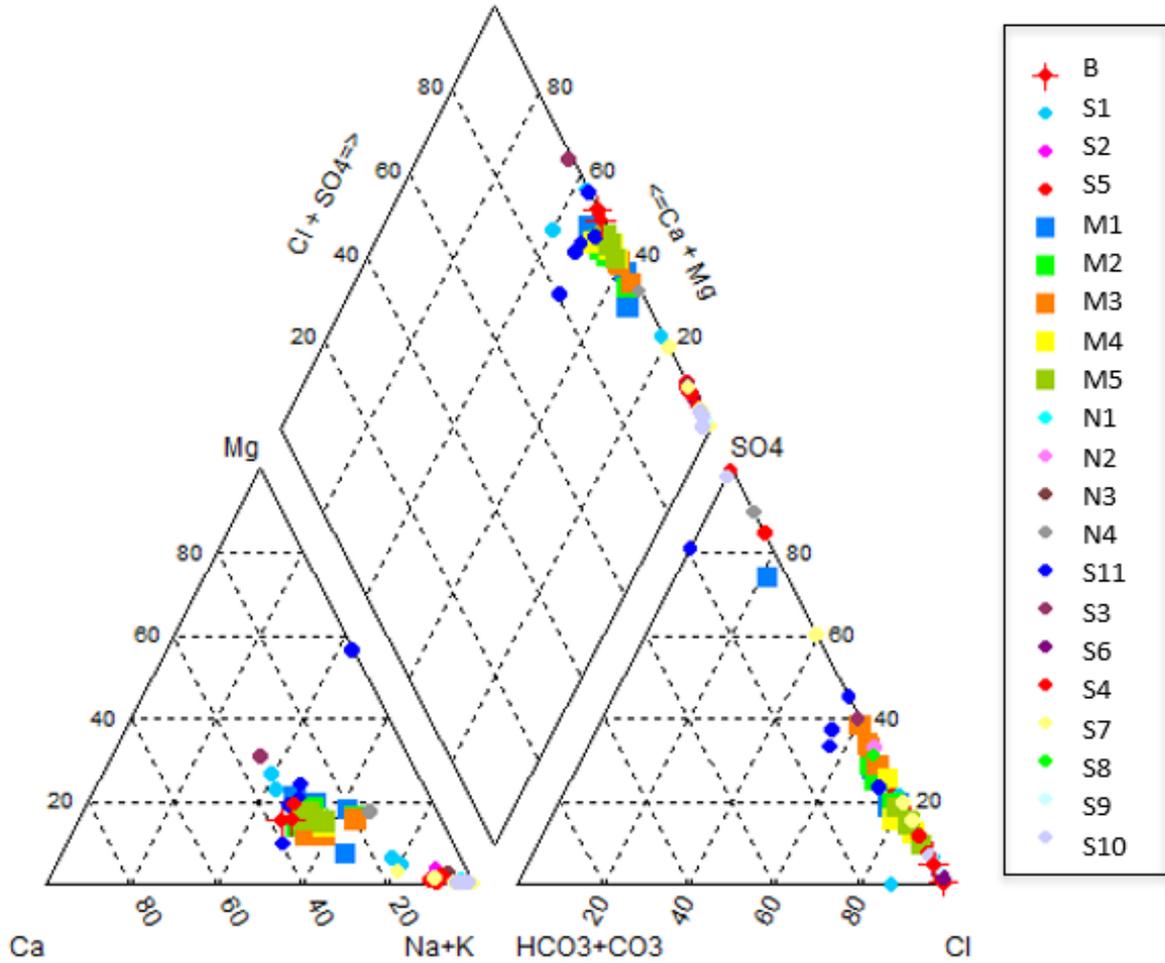
Ilustración 8. Perfiles de conductividad eléctrica de la boya.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

ANEXO C

Ilustración 1. Composición iónica relativa de todas las muestras.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 2. Composición iónica relativa de todas las muestras del embalse.

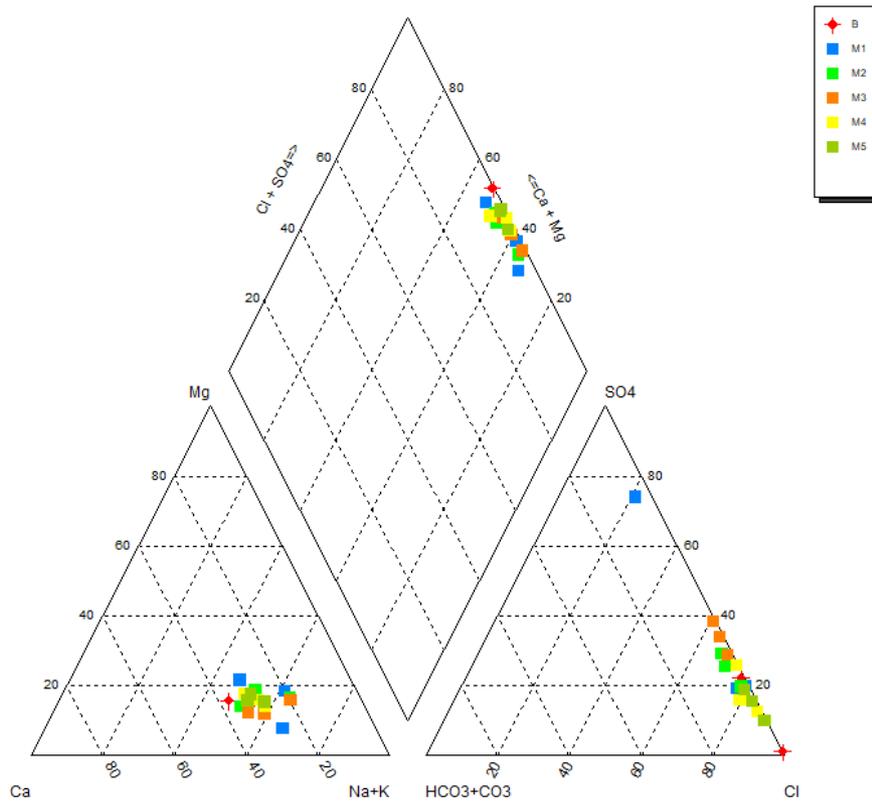
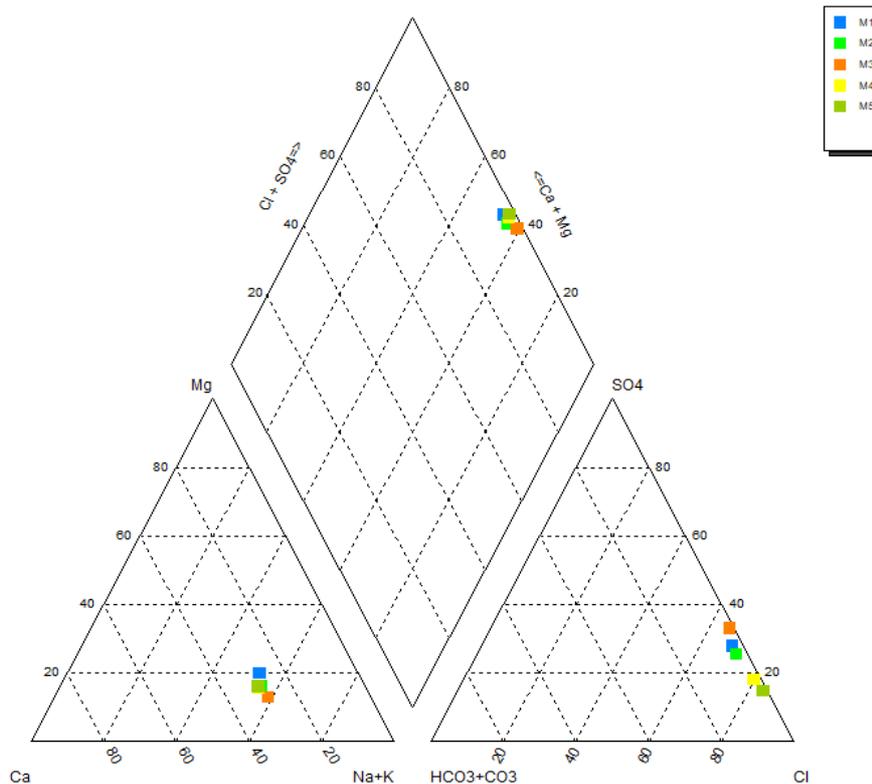


Ilustración 3. Composición iónica relativa promedio de las estaciones del embalse.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 4. Composición iónica relativa de todas las muestras de surgencias.

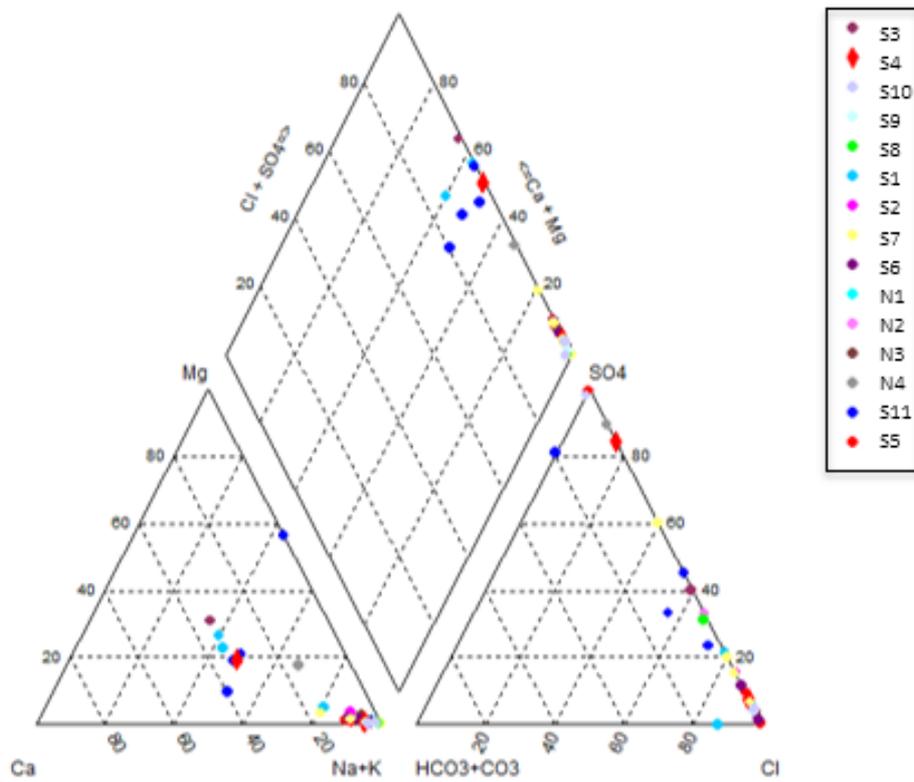
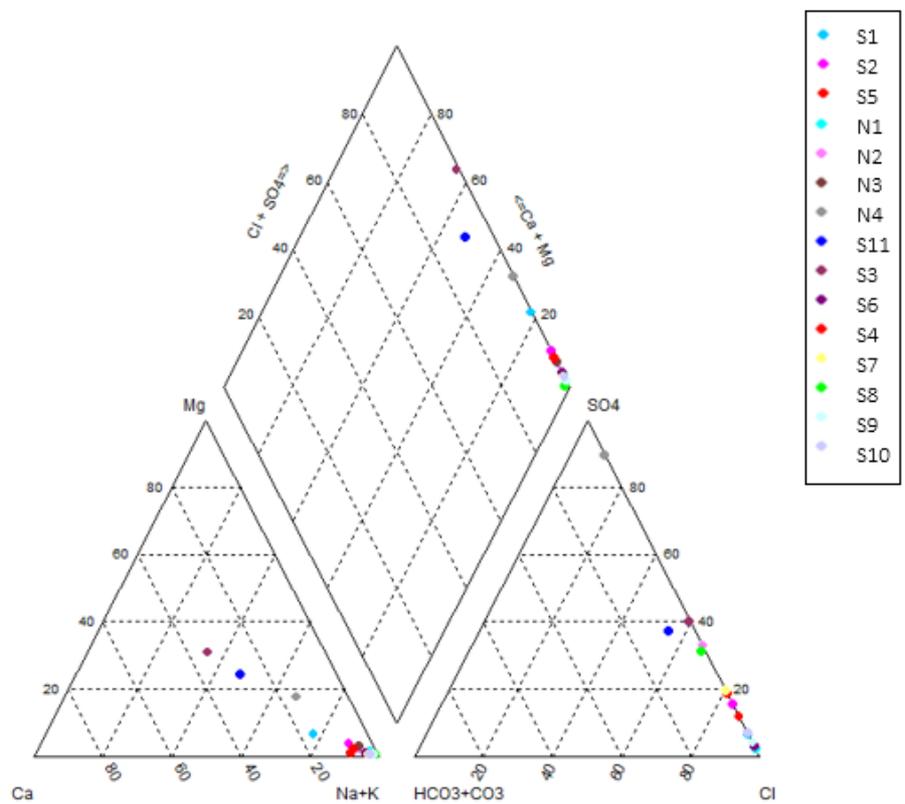


Ilustración 5. Composición iónica relativa promedio de las estaciones del embalse.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

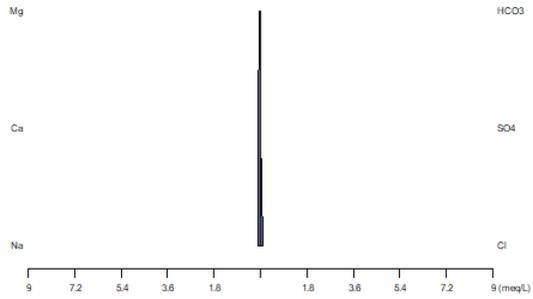
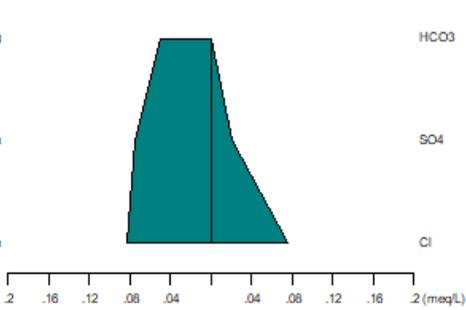
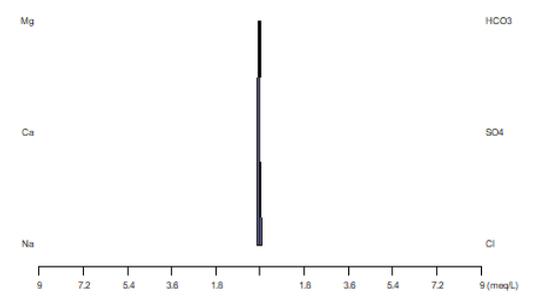
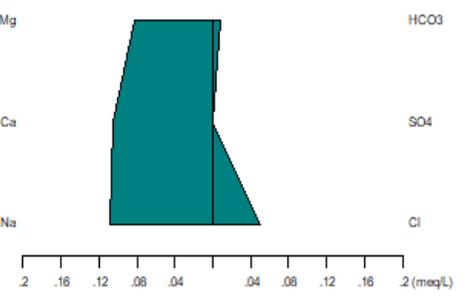
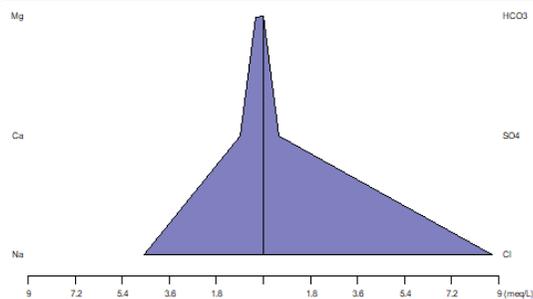
ANEXO D

Tabla 1. Composición iónica de cada estación y su variación en el tiempo.

MUESTRA	BOYA	M1	M2	M3	M4	M5	S1	S5	S6	S7	S10	S11
ESCALA	3 meq/L	0,6 meq/L	0,5 meq/L	0,7 meq/L	0,6 meq/L	0,7 meq/L	9 meq/L	40 meq/L	60 meq/L	80 meq/L	50 meq/L	0,3 meq/L
JULIO												
AGOSTO												
SEPTIEMBRE												
OCTUBRE												
NOVIEMBRE												
DICIEMBRE												
ENERO												
MARZO												

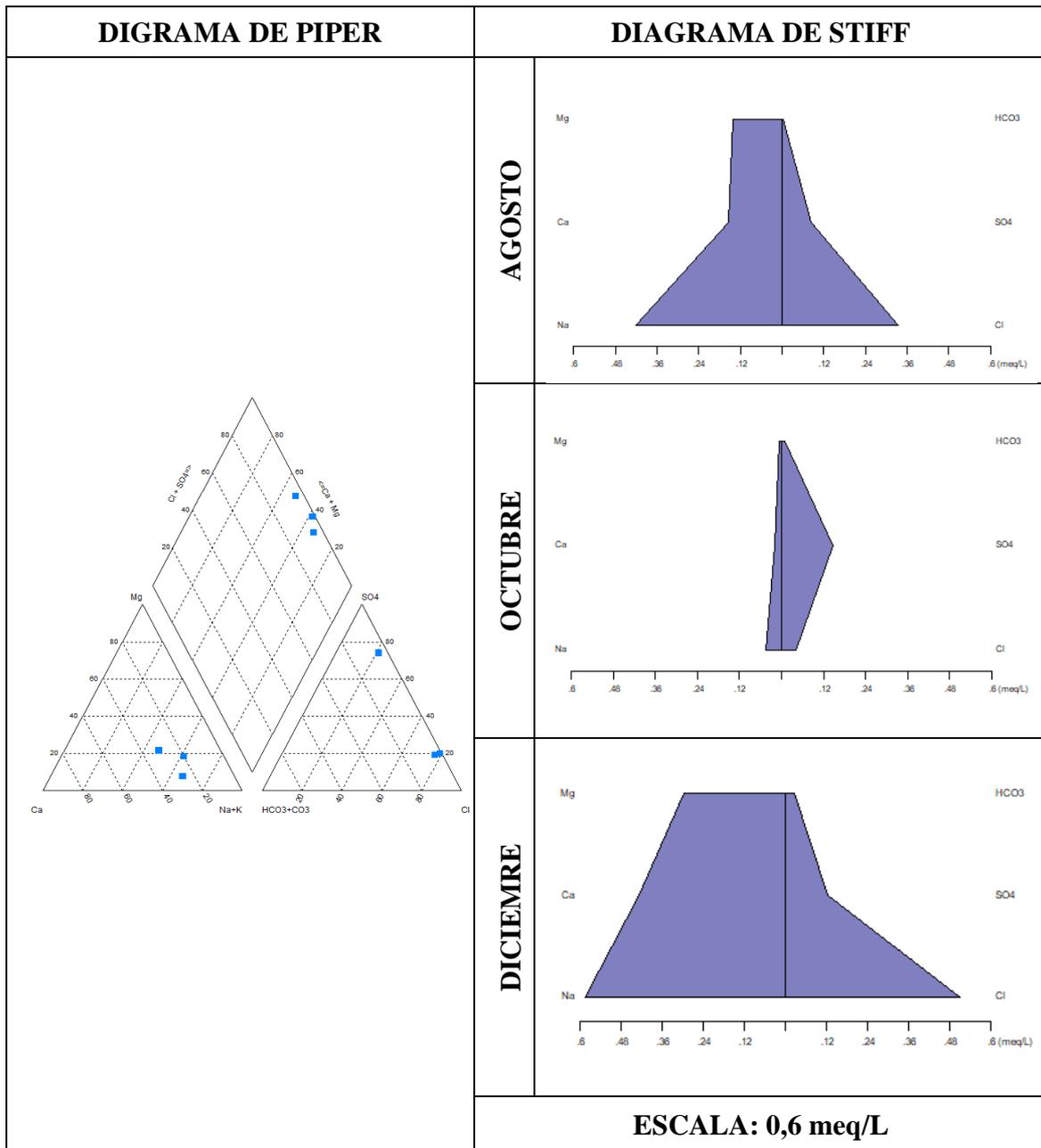
CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Tabla 2. Composición iónica de la estación S1 en diferentes escalas.

MUESTRA	S1	S1
ESCALA	9 meq/L	2 meq/L
<p style="text-align: center;">JULIO</p>		
<p style="text-align: center;">NOVIEMBRE</p>		
<p style="text-align: center;">MARZO</p>		

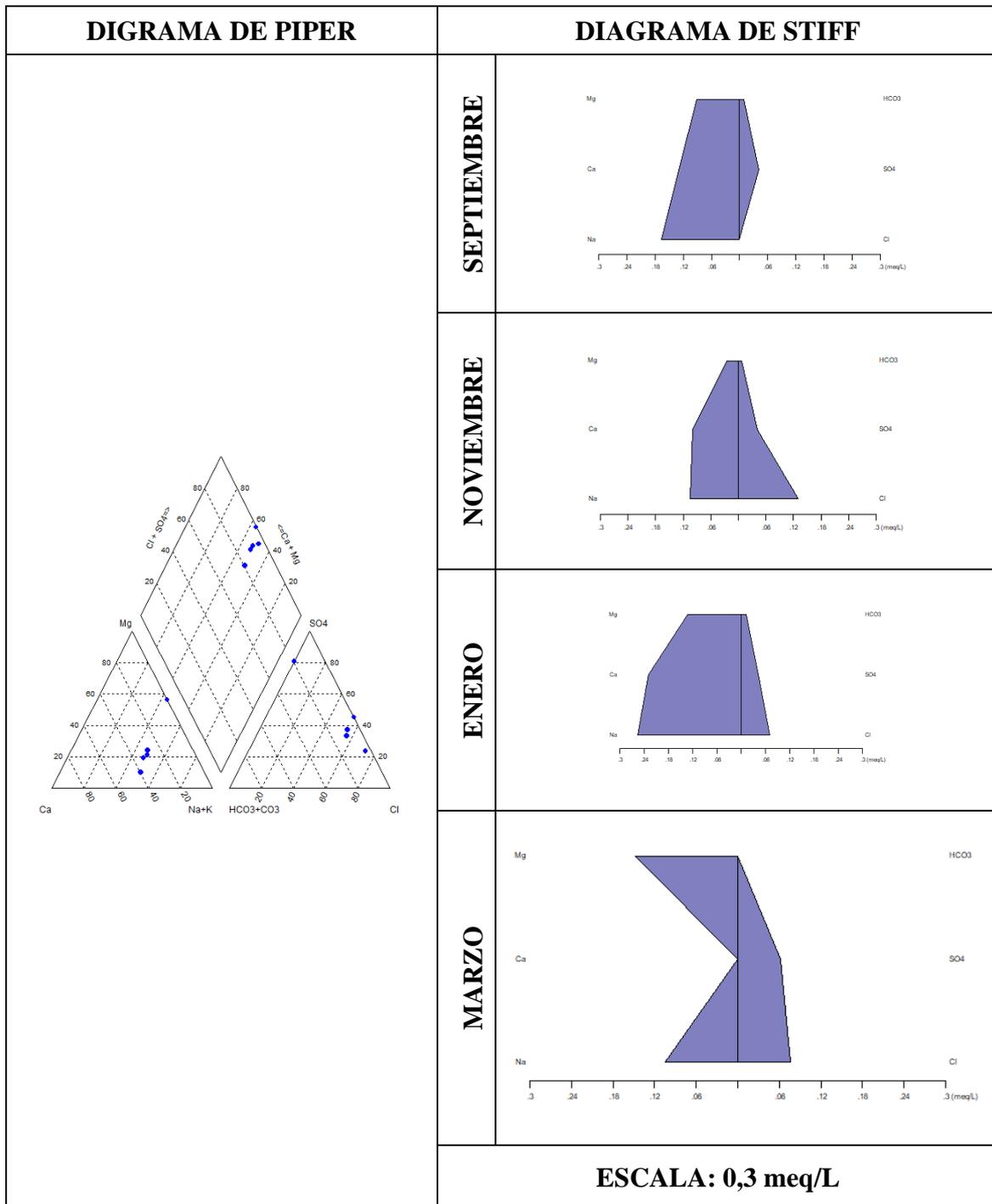
CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Tabla 3. Estación M1.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Tabla 4. Estación S11.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

ANEXO E

Ilustración 1. Precipitación mensual 2018-2019.

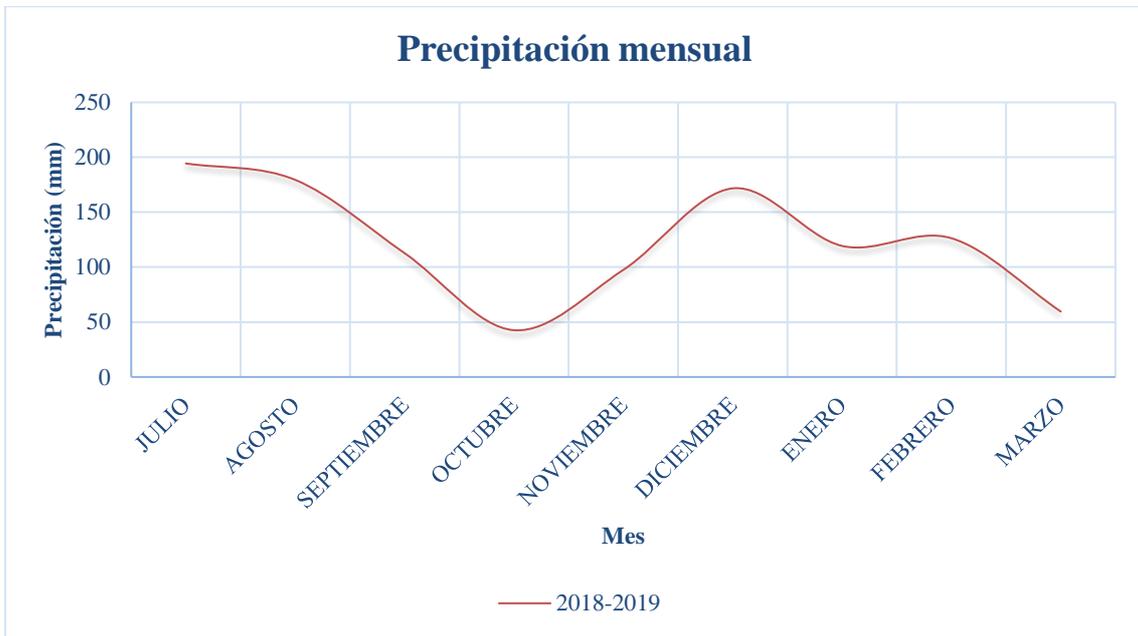
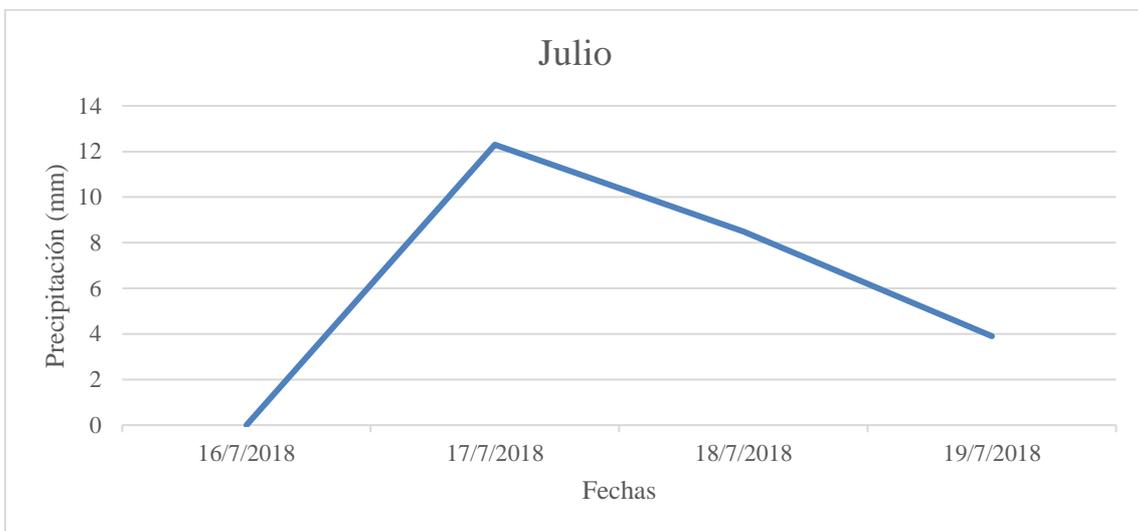


Ilustración 2. Precipitación julio.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 3. Precipitación agosto.

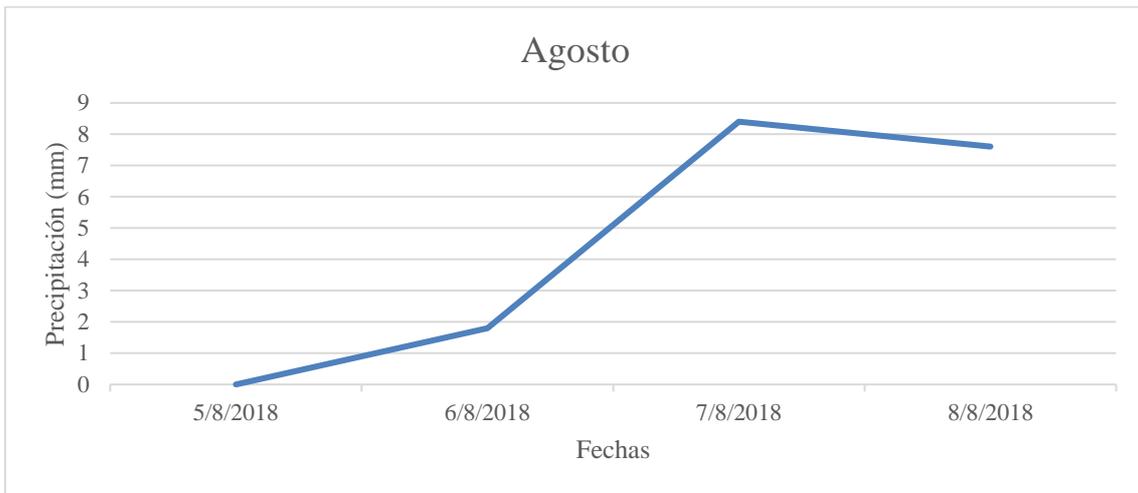


Ilustración 4. Precipitación septiembre.

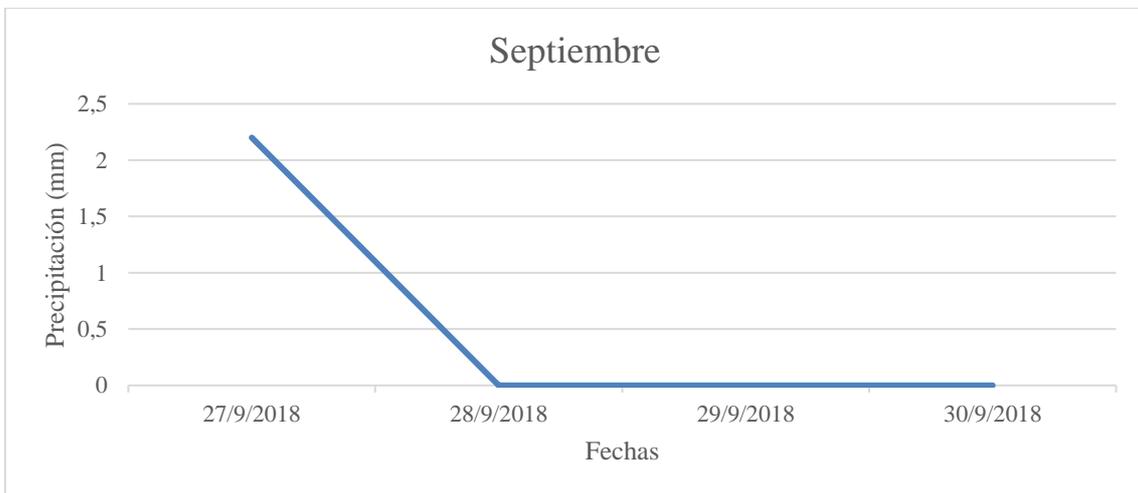


Ilustración 5. Precipitación octubre.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 6. Precipitación noviembre.

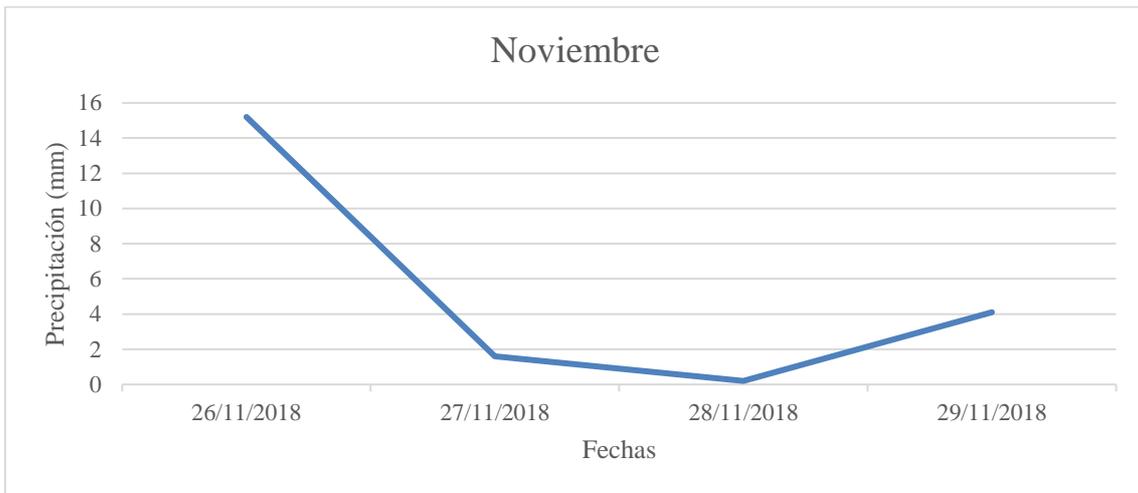
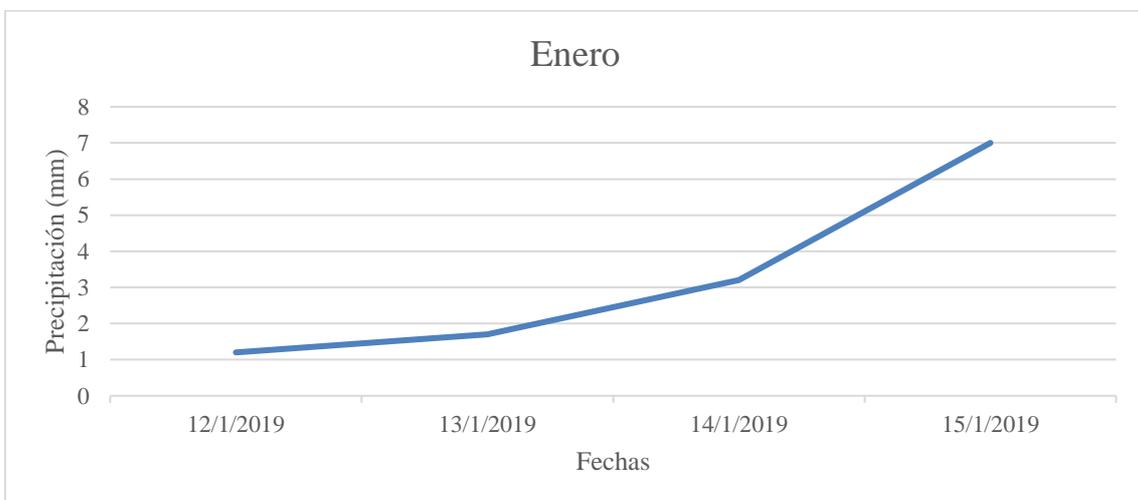


Ilustración 7. Precipitación diciembre.

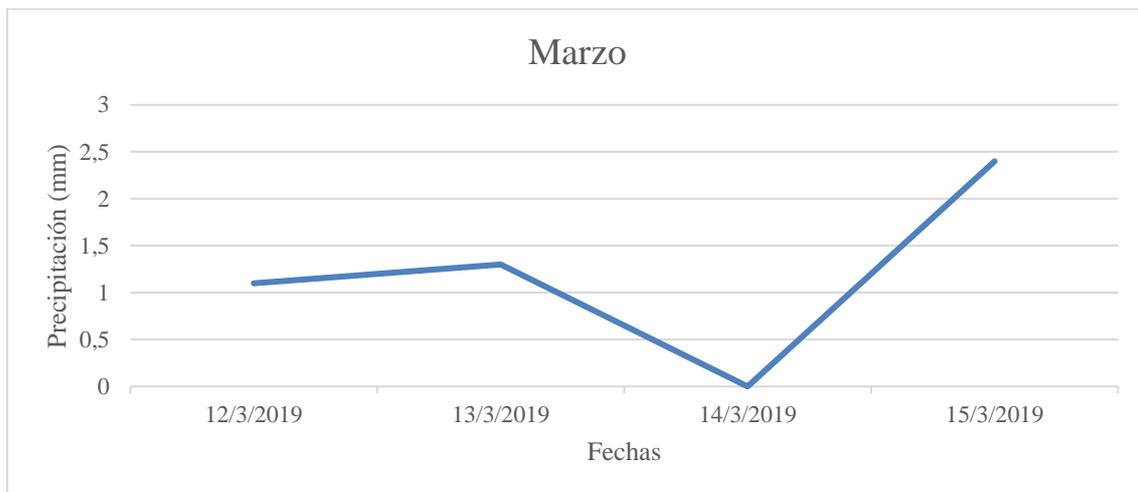


Ilustración 8. Precipitación enero.



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SURGENCIAS Y APORTANTES SUPERFICIALES DEL EMBALSE SALVE FACCHA

Ilustración 9. Precipitación marzo.



ANEXO F

Ilustración 1. Ubicación de los puntos de muestreo analizados.

