

**IDENTIFICACIÓN DE MANANTIALES DENTRO DEL
AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO
“LOMA LARGA”**

CONSULTORES:

ING. PATRICIO LAZO JARA, MSc.

ING. PATRICIO CRESPO, PhD.

EXPERTOS DE INV MINERALES ECUADOR:

ING. JORGE BARRENO

ING. DARÍO MORÁN

JULIO, 2020

Contenido

1. Ficha técnica	3
2. Antecedentes.....	4
3. Materiales y Métodos.....	4
3.1. Zona de Estudio y selección de sitios de monitoreo	4
3.2. Medición de Parámetros.....	6
3.3. Identificación de Manantiales.....	7
4.- Resultados	12
4.1. Sitios de referencia (Quebradas, humedales y piezómetros)	15
4.2. Manantiales encontrados (sitios en caudal con anomalías)	18
4.3 Zona Seep (sitios en humedales con anomalías).....	20
5. Conclusiones	23
6. Referencias	23
Tabla 1 Equipo técnico consultor	3
Tabla 2 Características principales de los piezómetros monitoreados.	7
Tabla 3 Valores medidos en los sitios de monitoreo seleccionados dentro de la zona de influencia del PMLL	12
Tabla 4 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de quebradas.	15
Tabla 5 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de suelos.	16
Tabla 6 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de agua subterránea (piezómetros).	17
Tabla 7 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de quebrada designados como manantiales (solo se presentan en la tabla los orígenes de los manantiales).	18
Tabla 8 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de humedales cuyos valores presentan anomalías.	21
Figura 1 Mapa de la zona de estudio y ubicación de sitios monitoreados.	6
Figura 2 Sonda Multiparamétrica AquaTROLL500	7
Figura 3 Geología del Proyecto.....	9
Figura 4 Mapa Geológico y ubicación de sitios de manantiales y zona seep.	11
Figura 5 Comparación de los valores de conductividad medidos en los sitios de monitoreo y la altitud. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep.	14
Figura 6 Mapa de la zona de estudio con los sitios correspondientes a Manantiales y Zona Seep.	19
Figura 7 Identificación de valores atípicos en base a los valores de EC y altitud dentro de la zona de influencia del PMLL. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep. La línea roja entrecortada representa la altitud a la que se ubica la zona seep de acuerdo al memorando técnico "Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga" presentado por ITASCA.	20
Figura 8 Esquema de la zona de descarga de aguas subterráneas de la zona de influencia del proyecto minero "Loma Larga". Las líneas roja y negra indican la ubicación y profundidad a escala de los piezómetros LLDHG009A y LLDHG009, respectivamente.	22

1. Ficha técnica

Tabla 1 Equipo técnico consultor

Nombre	Formación Profesional	Componente	Correo electrónico/ teléfono	Firma de responsabilidad
Patricio Lazo	Ingeniero Civil, MSc. en Ecohidrología.	Linea base física	patolazo23@gmail.com	
Patricio Crespo	Ingeniero Civil, MSc. en Manejo y conservación de agua y suelo, PhD. en Ciencias Naturales	Linea base física	patricio.crespos@gmail.com	

2. Antecedentes

Dentro del proyecto minero “Loma Larga” (PMLL) se ha determinado la zona de influencia que principalmente abarca las unidades hidrográficas circundantes al proyecto. Para poder determinar el posible impacto que la etapa de construcción y operación y mantenimiento del PMLL pudiera causar dentro de estas unidades, es necesario conocer las interacciones aguas superficiales con subterráneas. En este sentido la caracterización de los llamados afloramientos de agua o manantiales o springs u ojos de agua es algo fundamental, los cuales podrían indicar sitios de monitoreo para evaluación del impacto ambiental a futuro.

Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue determinar estos sitios de afloramiento de agua subterránea/manantiales/springs/ojos de agua dentro de la zona de influencia del PMLL mediante la medición de parámetros físicos en campo, como la conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua, que permita identificar valores de referencia y anomalías.

3. Materiales y Métodos

3.1. Zona de Estudio y selección de sitios de monitoreo

El área de estudio corresponde al área de influencia directa del PMLL, principalmente en la unidad hidrográfica Quinuahuaycu y Rumiguaycu, debido a que estas quebradas se encuentran en el sentido de flujo del agua subterránea (Oeste a Este) identificado dentro del estudio de aguas subterráneas del PMLL. Dentro del área de estudio se buscó tomar mediciones en las quebradas, humedales de aporte y piezómetros presentes en la misma. Esto con el fin de identificar anomalías (valores de calidad de agua diferentes que puedan significar descarga de aguas subterráneas en un punto o zona) en la calidad del agua y que nos permita identificar zonas de springs/manantiales/ojos de agua o zonas de descarga difusa/“seep”. De esta forma se lograron monitorear 42 sitios (Figura 1) de los cuales 23 corresponden a sitios en quebradas (Foto 1), 16 a agua de los poros de los humedales (Foto 2), y 3 a piezómetros (Foto 3).



Foto 1 Sitio de monitoreo en quebrada Q-05.



Foto 2 Sitio de monitoreo en humedales H-07.



Foto 3 Sitio de monitoreo en piezómetro LLDHG-010.

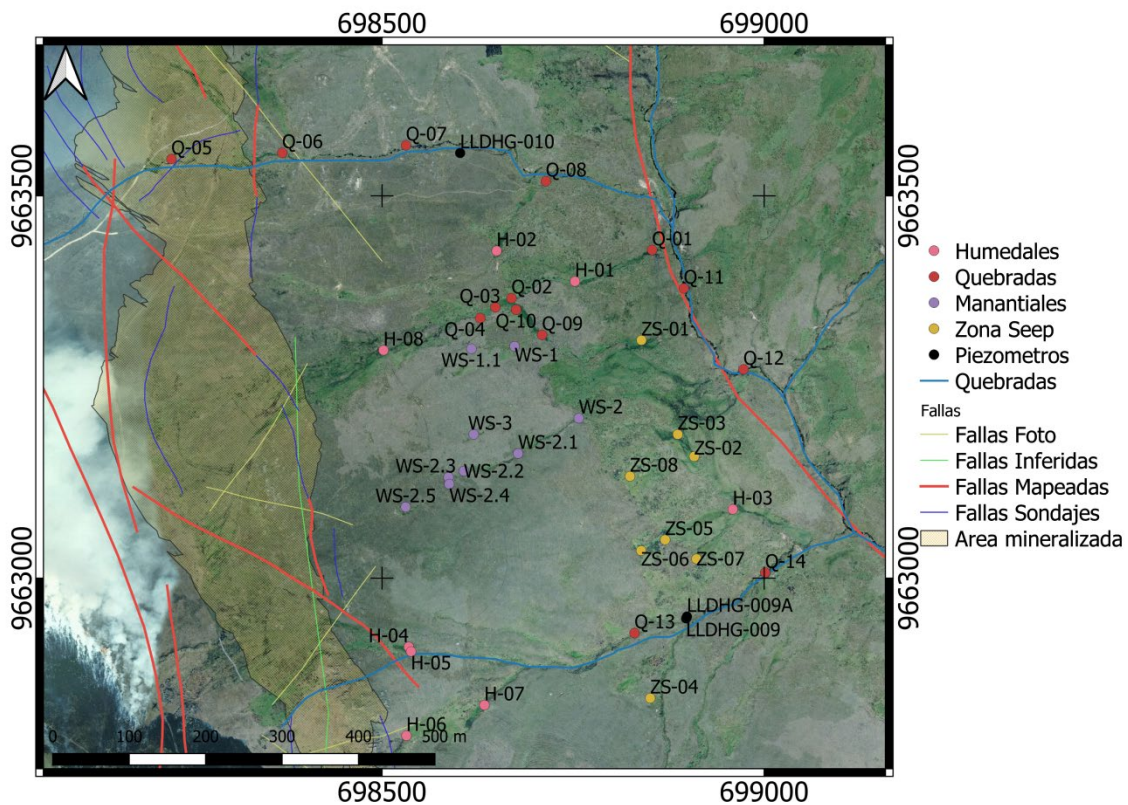


Figura 1 Mapa de la zona de estudio y ubicación de sitios monitoreados.

Fuente: INV Minerales EC, monitoreo hidrogeológico, 2019. Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

3.2. Medición de Parámetros

La medición de parámetros se realizó los días 26 y 28 de junio de 2020. Los parámetros seleccionados para medirse en los sitios fueron el potencial de hidrógeno (pH), temperatura, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad eléctrica (EC), poniendo especial atención en la última ya que valores altos de EC sirven como indicador de agua más profunda. Para la medición de estos parámetros se utilizó la sonda multiparamétrica AquaTROLL500 de la marca In-Situ (Figura 2). La sonda fue calibrada por el equipo técnico de PathProfit previo al monitoreo (se adjunta certificado de calibración)

Para la medición en campo en sitios de quebrada, se buscaron secciones o sitios donde el agua no se encuentre estancada, sino que esté fluyendo normalmente, además se buscaron tramos de quebrada rectos, es decir; que no existan curvas y evitar burbujas en el agua que puedan alterar las mediciones. Para el caso de sitios dentro de humedales, se procedió a excavar en el humedal hasta encontrar el agua del suelo y ubicar la sonda en el interior del agua. Finalmente, para la medición en los piezómetros, se extrajo agua de los mismos mediante el uso de bailers (muestreadores) y se colocó en un recipiente en donde se sumergió la sonda para tomar la medición.



Figura 2 Sonda Multiparamétrica AquaTROLL500

3.3. Identificación de Manantiales

Para poder determinar la presencia o no de manantiales, se procedió a tomar mediciones en las quebradas existentes dentro de la zona de estudio, de esta forma se pueden identificar quebradas en las que los valores de EC fueran más altos con respecto al resto, lo que puede indicar la presencia de un manantial. De esta manera se pudo determinar cuáles eran los valores de referencia (rango normal) y los valores atípicos (por encima del rango normal). Una vez encontrados los sitios con valores atípicos se procedió a ir aguas arriba de dichos sitios, realizando mediciones de EC para verificar por donde se mueve el agua con la anomalía, hasta encontrar el origen de la quebrada, que puede ser un afloramiento/manantial/spring/oyo de agua o una zona de humedal/seep. De mantenerse los valores atípicos hasta el origen, se puede decir que esa quebrada está formada principalmente por un manantial. En caso de que el origen se encuentre en un solo humedal, se tomaron mediciones dentro del humedal para determinar si este se encuentra alimentado por agua más profunda, de ser así se puede decir que es alimentado por un manantial. En caso de que existan varios humedales o una zona de anomalías se puede decir que es una zona de descarga difusa de agua o llamada “seep”.

Adicionalmente, se tomaron mediciones en pozos de agua subterránea (piezómetros), para tener valores de referencia de agua subterránea y poder comparar los valores medidos con las aguas superficiales. La Tabla 2 muestra las características principales de los 3 piezómetros en donde se realizaron las mediciones de los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 2 Características principales de los piezómetros monitoreados.

Piezómetro	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Altitud (m s.n.m)	Profundidad (m)	Azimuth	Buzamiento (°)
	Este (m)	Norte (m)				
LLDHG-009	698897	9662947	3627	22.86	0	-90
LLDHG-009A	698899	9662949	3626	12.5	0	-90
LLDHG-010	698602	9663556	3665	15.24	0	-90

Fuente: Monitoreo hidrogeológico INV Minerales.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo.



Foto 4 Piezómetros LLDHG-009 y LLDHG-009A. El piezómetro LLDHG-010 se mostró en la sección 2.1.

3.- Marco Geológico

Loma Larga y su zona circundante inmediata está ubicada principalmente sobre rocas volcánicas y volcano-clásticas del Mioceno Superior, de las Formaciones: Turi, Turupamba, Quimsacocha y Tarqui (Figura 3). Estas Formaciones están dispuestas en capas planas horizontales con ángulos de buzamiento suave. Los afloramientos que están expuestos forman un patrón radial alrededor de la caldera y se alejan buzando suavemente hacia el sur y el este.

La Formación Turi se compone de brechas tufaceas, conglomerados y areniscas con un alto contenido de clastos andesíticos. La Formación Turupamba, expuesta sólo en la esquina suroeste del proyecto, se compone de tobas riolíticas y dacíticas con una cantidad menor de tobas lapilli.

La zona del Proyecto está en gran parte cubierto por la Formación Quimsacocha, consiste en flujos alternos de lavas andesítica con fenocristales de plagioclasa fresca, brechas volcánicas de composición andesítica y unidades piroclásticas andesíticas (tobas de cristales, tobas de fragmentos), distribuidos radialmente solo alrededor de la parte exterior de la caldera. La Formación Tarqui aflora principalmente en el flanco oriental de la caldera donde se superpone a la formación Turi. Cerca del yacimiento de Loma Larga, la Formación Tarqui se compone principalmente de tobas de cuarzo porfírico de composición riolítica fuertemente erosionada.

Después de colapso de la caldera, ocurrió un evento intrusivo volcánico posterior a la mineralización, lo que dio como resultado domos y criptodomas dacíticos y riolíticos, de feldespato y cuarzo, emplazados en la caldera y alrededor de la misma, durante el Plioceno.

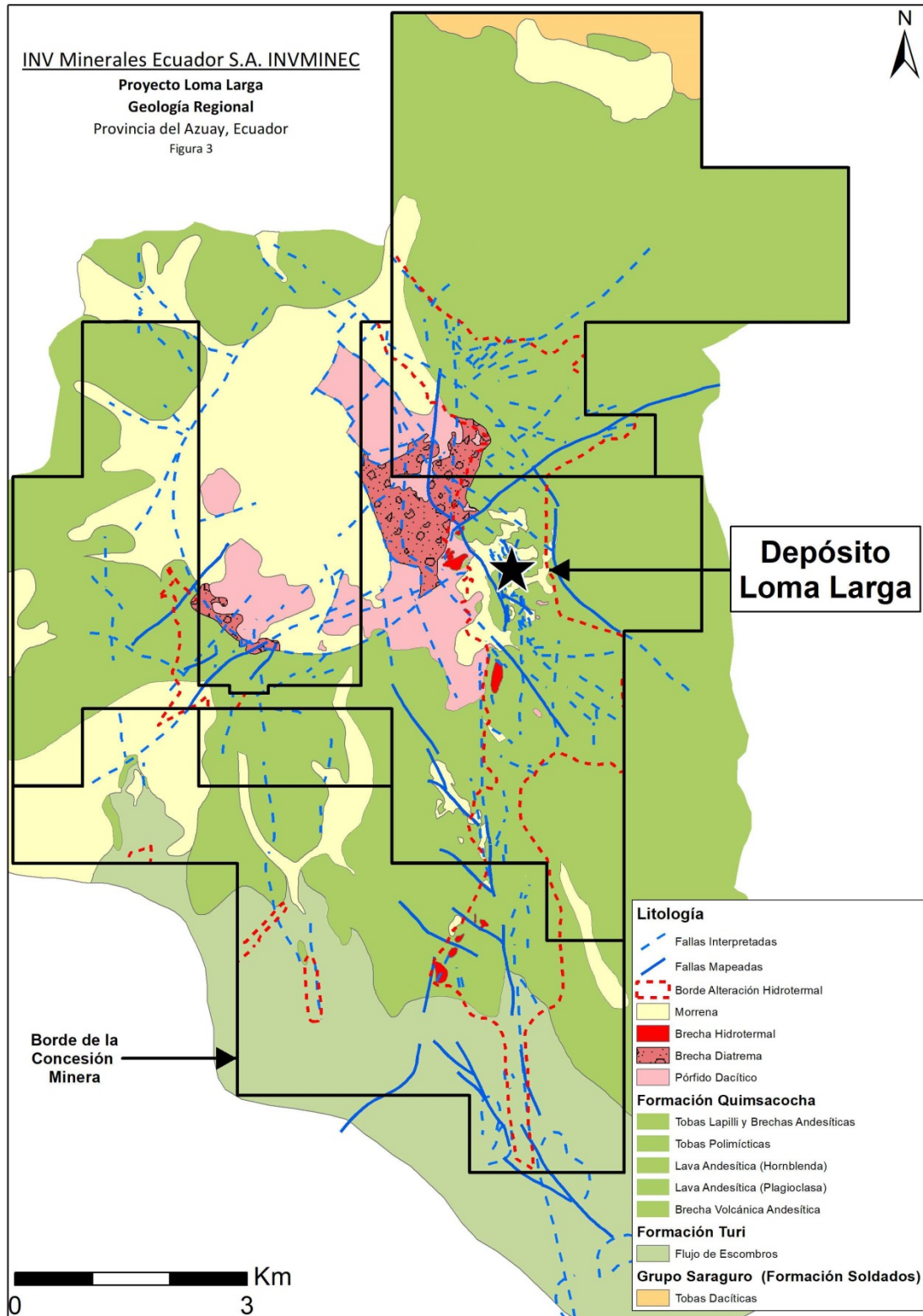


Figura 3 Geología del Proyecto

Fuente: INV Minerales EC, base de datos de geología regional

Elaboración: INV Minerales EC, 2020.

Depósitos Morrénicos y de Aluvión

Corresponden a morrenas de origen glacial y de tipo aluvión o flujo de escombros, constituidos por una matriz fina de tipo arenosa que envuelve bloques de tamaño centimétrico a métrico, políliticos correspondientes a las unidades anteriormente citadas, gran número de estos bloques se encuentra alterados hidrotermalmente, principalmente silicificados, y sílice-arcillosos, en los cuales se puede ver algunos con mineralización de pirita y principalmente óxidos como limonita, hematita, gohetita, estos depósitos alcanzan algunas decenas de metros de potencia en la Quebrada D1 y Quinuahuaycu. Se considera que estos depósitos son del Plioceno y Cuaternario.



Foto 5 Depósitos morrénicos en Quebrada D1.

Geología Estructural

El área operativa del Proyecto Loma Larga se encuentra controlada estructuralmente por sistemas de fallas con dirección típicamente andina NE-SE: El sistema de falla Gañarín al noroeste y la falla Girón ubicada al sur, siendo este un patrón estructural regional; un segundo patrón estructural está definido por la falla Rio Falso orientada en dirección norte-sur, que se interpreta como una falla conjugada que une las fallas Gañarín y Girón, es el canal de los fluidos de la alteración y mineralización del sistema de mineralización del depósito Loma Larga (Figura 3). Los trabajos de exploración y datos que vienen de interpretación satelital y de fotografías aéreas, muestran que otro de un tercer patrón estructural importante tiene dirección NW-SE, siendo una familia de fallas y fracturas que se evidencian hasta la actualidad y han sido recopiladas en el trabajo de perforaciones y mapeo geológico de campo, como se observa del mapa de estructuras locales (Figura 4). Finalmente, otro rasgo estructural principal es el anillo de una caldera volcánica colapsada, de cuatro kilómetros de diámetro, constituye el remanente de un volcán erosionado, que se encuentra a lo largo (y probablemente emplazado y controlado

por la falla Gañarín); el borde de la caldera se ubica a 400 metros al oeste de la mineralización principal de Loma Larga.

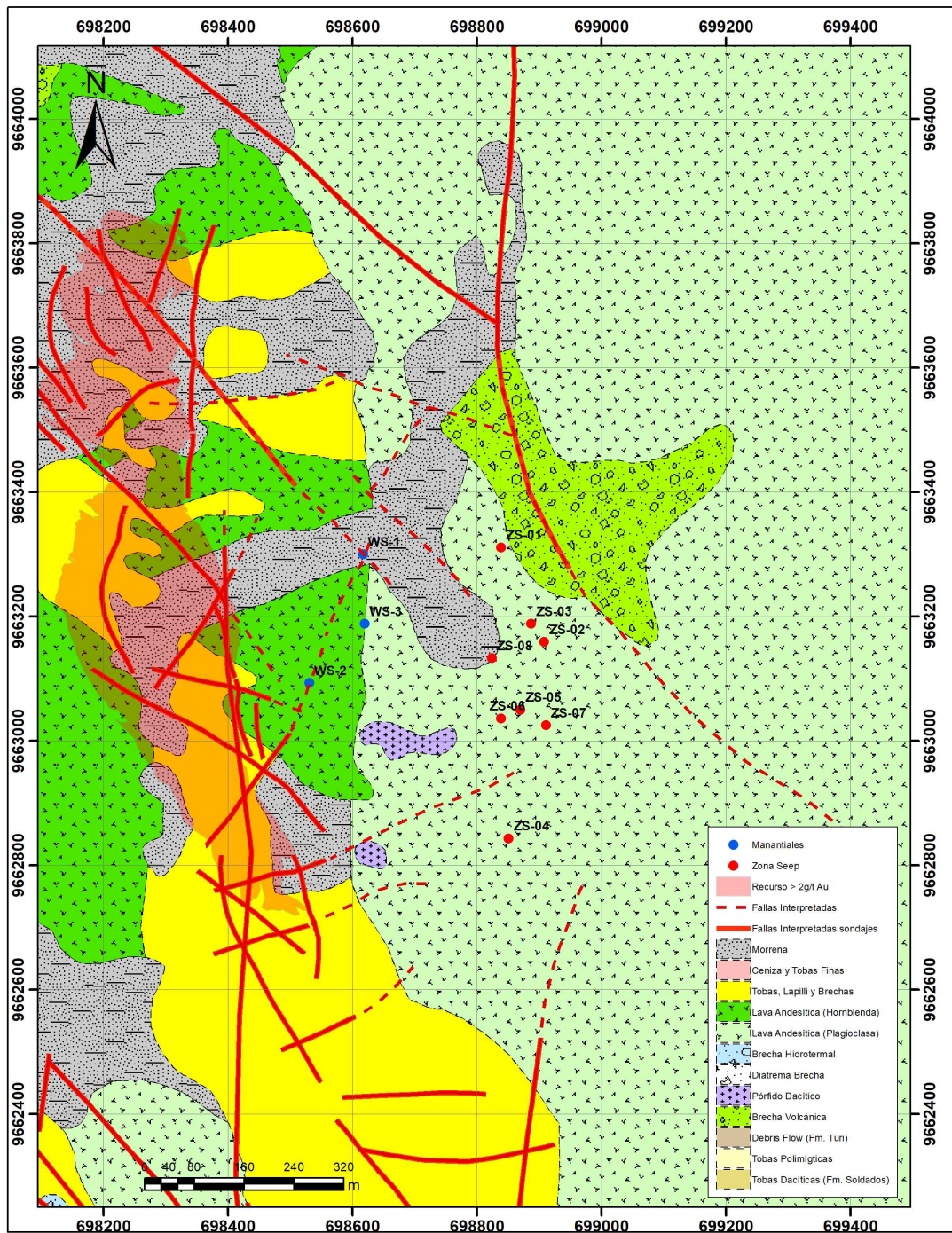


Figura 4 Mapa Geológico y ubicación de sitios de manantiales y zona seep.

Fuente: INV Mineralec EC, monitoreo hidrogeológico, 2019. Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: INV Mineralec EC.

4.- Resultados

La Tabla 3 muestra todos los valores medidos en los 42 sitios seleccionados, se puede observar que los valores de temperatura se encuentran entre 8°C y 13.49°C, con un promedio de 10.03°C, mientras que en el caso del pH el rango fue entre 5.45 y 7.96, con promedio de 6.91. Por otro lado, los valores de EC oscilan entre 0.54µS/cm y 186.04µS/cm, con un promedio de 50.67µS/cm, y finalmente los valores de TDS se encuentran entre 0.35ppm a 120.92ppm, con un promedio de 32.67ppm. Esto refleja que no existen diferencias significativas o anomalías en los valores de temperatura y pH, por lo que la identificación de los manantiales se enfocó en las anomalías presentes en las mediciones de EC (Figura 5).

Tabla 3 Valores medidos en los sitios de monitoreo seleccionados dentro de la zona de influencia del PMLL.

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
Q-01	699105	9663794	3621	7.33	10.77	39.11	25.42	Sitio en quebrada
Q-02	698921	9663731	3659	7.22	9.08	43.87	28.51	Sitio en quebrada
Q-03	698900	9663719	3668	6.90	8.88	20.90	13.59	Sitio en quebrada
Q-04	698880	9663705	3674	7.05	8.55	18.11	11.77	Sitio en quebrada
Q-05	698476	9663913	3729	6.99	8.18	33.09	21.62	Sitio en quebrada
Q-06	698621	9663921	3723	7.25	9.75	27.07	17.60	Sitio en quebrada
Q-07	698783	9663931	3699	7.45	8.00	25.47	16.56	Sitio en quebrada
Q-08	698966	9663884	3647	7.34	9.14	40.77	26.50	Sitio en quebrada
Q-09	698961	9663683	3655	7.07	10.72	36.73	23.87	Sitio en quebrada
Q-10	698927	9663716	3664	7.10	8.79	22.34	14.52	Sitio en quebrada
Q-11	698895	9663379	3578	7.20	9.54	41.14	26.74	Referencia Quinuahuayco antes de Junta con ZS-01
Q-12	698973	9663273	3607	7.51	9.68	41.30	26.85	Referencia Quinuahuayco después de Junta con ZS-01
Q-13	699082	9663293	3655	6.68	9.73	30.98	20.14	Sitio en quebrada
Q-14	699253	9663372	3615	7.07	9.74	36.88	23.97	Sitio en quebrada
H-01	699004	9663753	3638	7.14	9.16	45.99	29.89	A la salida del humedal

H-02	698650	9663428	3655	7.13	8.43	44.58	28.98	Salida de humedal de aporte
H-03	698959	9663090	3619	5.96	13.49	28.43	18.45	Referencia Humedal
H-04	698535	9662910	3728	6.48	11.55	5.78	3.76	Referencia Humedal quebrada Q-13
H-05	698538	9662904	3729	6.58	8.97	31.51	20.48	Referencia Humedal quebrada Q-13 más abajo
H-06	698532	9662794	3735	7.09	9.63	13.69	8.90	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-07	698634	9662834	3703	6.66	11.32	11.46	7.45	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-08	698502	9663298	3716	6.14	12.40	0.54	0.35	A la salida del humedal
LLDHG 009	698897	9662947	3627	6.92	10.72	186.04	120.92	Piezómetro INV
LLDHG 009A	698899	9662949	3626	6.14	10.43	69.90	45.43	Piezómetro INV
LLDHG 010	698602	9663556	3665	6.58	10.83	60.82	27.84	Piezómetro INV
WS-1	698925	9663668	3666	7.47	9.58	85.46	55.55	Sitio en quebrada
				7.48	9.92	89.50	58.18	Sitio en quebrada
WS-1.1	698617	9663300	3687	6.89	9.67	87.62	56.95	Origen del manantial
WS-2	699009	9663574	3643	7.32	9.04	64.59	41.99	Sitio en quebrada
WS-2.1	698678	9663163	3679	7.43	9.08	56.69	36.85	Aguas arriba de WS-2
WS-2.2	698607	9663140	3700	7.06	9.03	64.56	41.97	Aguas arriba de WS-2
WS-2.3	698587	9663132	3711	7.54	9.15	61.21	39.79	Aguas arriba de WS-2
WS-2.4	698588	9663123	3711	7.61	9.30	58.73	38.18	Aguas arriba de WS-2
WS-2.5	698531	9663093	3736	6.17	10.87	86.90	56.49	Origen del manantial WS-2
WS-3	698620	9663188	3692	7.96	10.40	70.22	45.64	Origen del manantial WS-3
ZS-01	699091	9663676	3631	6.96	9.57	68.27	44.38	Salida de humedal
ZS-02	699160	9663524	3617	6.58	12.30	47.98	31.17	Salida de humedal
ZS-03	698887	9663188	3619	7.14	13.09	50.13	32.59	Humedal de aporte
ZS-04	698851	9662843	3661	5.45	10.78	66.32	43.12	Humedal de aporte
				6.03	10.99	68.17	44.28	

ZS-05	699122	9663415	3632	6.67	10.21	68.48	44.52	Salida de humedal
ZS-06	698838	9663036	3650	6.02	10.17	61.11	39.72	Humedal de aporte
ZS-07	699163	9663390	3626	6.34	10.50	58.19	37.83	Humedal
ZS-08	699076	9663498	3632	6.75	10.03	58.96	38.32	Humedal

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020. Datum WGS 84.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

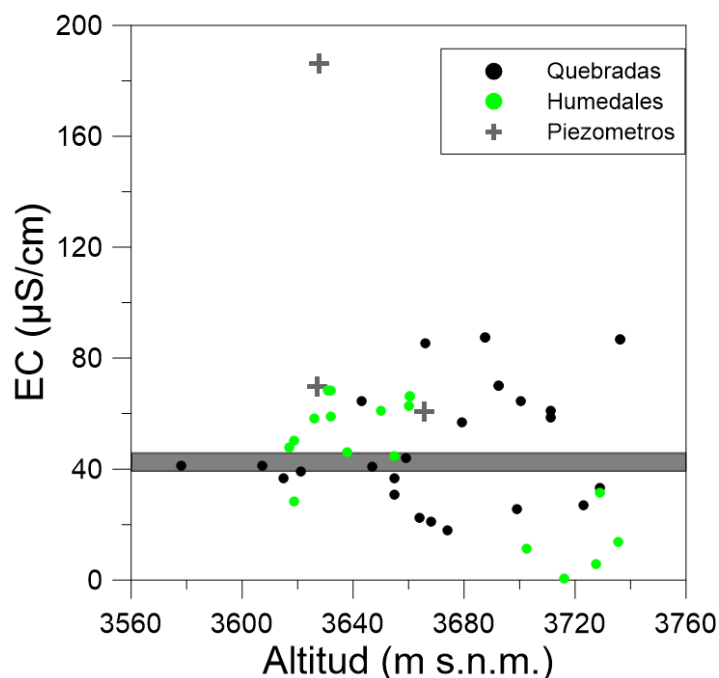


Figura 5 Comparación de los valores de conductividad medidos en los sitios de monitoreo y la altitud. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep.

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Los valores de referencia se seleccionaron al compararlos con los medidos en los piezómetros y con los valores correspondientes a unidades hidrográficas vecinas, como la Cristal, en donde se ha demostrado que el aporte de aguas subterráneas es despreciable dando como resultado valores de EC alrededor de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mosquera *et al.*, 2016). Esto se muestra en la Figura 5 donde se identifican dos grupos de agua bien definidos en los sitios medidos en este estudio, uno con valores bajos de EC que están por debajo de entre 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un segundo grupo que se encuentran alrededor de los piezómetros y con mayores conductividades. Este umbral de identificación de anomalías es coherente entre los valores de EC medidos en agua de humedales y de quebradas (existen valores de humedales y quebradas hasta el umbral seleccionado) lo cual corrobora que el valor de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puede ser usado para identificar

anomalías lo cual se evidencia en la Figura 5. Detalles sobre los valores de anomalías se presentan en las siguientes secciones.

4.1. Sitios de referencia (Quebradas, humedales y piezómetros)

Luego de identificado el valor de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como umbral para identificar una anomalía de EC (Figura 5) se procedió a dividir caracterizar los sitios de quebradas, humedales y piezómetros. Los valores presentados en la Tabla 4 son los correspondientes a los sitios dentro de las quebradas que pueden ser utilizados como referencia de la zona y de agua de quebradas sin anomalías evidentes, es decir; no se encuentran mezclados con agua profunda, o el porcentaje de agua profunda es muy bajo como para alterar los valores de los parámetros medidos.

Tabla 4 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de quebradas.

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	
Q-01	699105	9663794	3621	7.33	10.77	39.11	25.42	Sitio en quebrada
Q-02	698921	9663731	3659	7.22	9.08	43.87	28.51	Sitio en quebrada
Q-03	698900	9663719	3668	6.90	8.88	20.90	13.59	Sitio en quebrada
Q-04	698880	9663705	3674	7.05	8.55	18.11	11.77	Sitio en quebrada
Q-05	698476	9663913	3729	6.99	8.18	33.09	21.62	Sitio en quebrada
Q-06	698621	9663921	3723	7.25	9.75	27.07	17.60	Sitio en quebrada
Q-07	698783	9663931	3699	7.45	8.00	25.47	16.56	Sitio en quebrada
Q-08	698966	9663884	3647	7.34	9.14	40.77	26.50	Sitio en quebrada
Q-09	698961	9663683	3655	7.07	10.72	36.73	23.87	Sitio en quebrada
Q-10	698927	9663716	3664	7.10	8.79	22.34	14.52	Sitio en quebrada
Q-11	698895	9663379	3578	7.20	9.54	41.14	26.74	Referencia Quinahuayco antes de Junta con ZS-01
Q-12	698973	9663273	3607	7.51	9.68	41.30	26.85	Referencia Quinahuayco después de Junta con ZS-01

Q-13	699082	966329 3	3655	6.68	9.73	30.98	20.14	Sitio en quebrada
Q-14	699253	966337 2	3615	7.07	9.74	36.88	23.97	Sitio en quebrada

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Se puede observar que los sitios seleccionados se encuentran distribuidos por toda la zona de estudio (Figura 1) y que valores de los parámetros de calidad del agua en las quebradas de referencia se encuentran en el rango entre pH 6.68 a pH7.51, 8°C a 10.67°C para temperatura, 18.11µS/cm a 43.87 µS/cm para EC, y 11.77ppm a 28.51ppm para TDS. Al analizar la EC, se puede decir que los valores cercanos a 20uS/cm corresponde a los sitios que se encuentran más cerca de la cumbre, por lo que están conformados por agua más superficial, mientras que los valores cercanos a 40uS/cm corresponden a sitios más abajo en donde ya existe aporte de humedales, por lo que se produce ese aumento.

Por otro lado, la Tabla 5 muestra los valores de referencia obtenidos para el agua de los suelos (humedales), los cuales también se fueron distribuidos por toda la zona de estudio (Figura 1). Se puede observar que los valores medidos en el agua de los suelos (humedales) se encuentran dentro del rango entre pH 5.96 a pH 7.14, 8.43°C a 13.49°C para temperatura, 11.46µS/cm a 45.99 µS/cm para EC, y 0.35ppm a 29.89ppm para TDS. Cabe resaltar que si bien existieron valores de EC menores (sitios H-04 y H-08), estos sitios corresponden a humedales que se encuentran en la cumbre, por lo que el agua es mayormente proveniente directamente de la precipitación, produciendo los valores extremadamente bajos, representando más la EC de la precipitación que de los suelos, por lo que no se consideraron dentro del rango de referencia de los suelos. Así, los valores menores de conductividad corresponden a altitudes mayores, y al ir disminuyendo los humedales aumentan la conductividad, por lo que el valor considerado como referencia para identificar una anomalía corresponde a 46µS/cm como se dijo antes y es muy coherente con los valores de EC en las quebradas.

Tabla 5 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de suelos.

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	
H-01	699004	966375 3	3638	7.14	9.16	45.99	29.89	A la salida del humedal
H-02	698650	966342 8	3655	7.13	8.43	44.58	28.98	Salida de humedal de aporte
H-03	698959	966309 0	3619	5.96	13.49	28.43	18.45	Referencia Humedal

H-04	698535	9662910	3728	6.48	11.55	5.78	3.76	Referencia Humedal quebrada Q-13
H-05	698538	9662904	3729	6.58	8.97	31.51	20.48	Referencia Humedal quebrada Q-13, más abajo
H-06	698532	9662794	3735	7.09	9.63	13.69	8.90	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-07	698634	9662834	3703	6.66	11.32	11.46	7.45	Referencia humedal de aporte Q-13 otro ramal
H-08	698502	9663298	3716	6.14	12.40	0.54	0.35	Referencia Humedal cumbre

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

Finalmente, la Tabla 6 muestra los valores obtenidos para los 3 piezómetros monitoreados dentro del área de estudio (Figura 1). Se puede observar que el piezómetro cuya profundidad es de 15m (LLDHG010) tiene un valor de EC de 60.82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menor al de 12m (LLDHG009A) cuyo valor fue de 69.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto se debe a que el piezómetro LLDHG010 se encuentra en una posición superior, muy cerca a la cumbre por lo que el agua que se encuentra circulando, a ese nivel, no es muy profunda, mientras que el LLDHG009A se encuentra en una posición de ladera más baja, por lo que el agua tiene mayor contacto con la secuencia volcánica más profunda, aumentando su EC. Por otro lado, el LLDHG009 posee una EC de 186.04 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mucho mayor debido a la mayor profundidad del mismo (22.86m). Estos valores nos permiten tener una idea de la EC del agua más profunda.

Tabla 6 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de referencia de agua subterránea (piezómetros).

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	
LLDHG009	698897	9662947	3627	6.92	10.72	186.04	120.92	Piezómetro INV
LLDHG009A	698899	9662949	3626	6.14	10.43	69.90	45.43	Piezómetro INV
LLDHG010	698602	9663556	3665	6.58	10.83	60.82	27.84	Piezómetro INV

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

4.2. Manantiales encontrados (sitios en caudal con anomalías)

Una vez determinados los valores de referencia y clasificados los sitios de referencia, se pudo determinar los sitios que presentaron anomalías (valores por encima del umbral definido de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La Tabla 7 muestra los sitios de origen de los tres manantiales (fuente natural de agua que fluye a partir de aguas subterráneas, atraviesa la roca, sedimento o suelo y luego fluye sobre la superficie de la tierra) encontrados con los resultados de los parámetros medidos, y se puede observar claramente que los valores de EC están muy por encima de los valores de referencia con valores superiores a 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para WS-1 y WS-2 (87.62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 86.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente), mientras que para WS-3 fue mayor a 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (70.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No se encontró anomalías evidentes para pH y Temperatura en los humedales. Esto nos lleva a concluir que son aguas poco profundas. La Tabla 7 muestra únicamente los sitios en los que se originan los manantiales.

Tabla 7 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de quebrada designados como manantiales (solo se presentan en la tabla los orígenes de los manantiales).

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m)	pH	Temperatura (°C)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	
WS-1	698617	9663300	3687	6.89	9.67	87.62	56.95	Origen del manantial
WS-2	698531	9663093	3736	6.17	10.87	86.90	56.49	Origen del manantial
WS-3	698620	9663188	3692	7.96	10.40	70.22	45.64	Origen del manantial

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

La presencia de los manantiales en los sitios que se encuentran cerca entre sí (Figura 6) y los valores similares de EC alrededor de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en donde nacen (WS-1, WS-2, y WS-3), que se pueden observar en la Figura 4 están controlados tanto por la volcano-estratigrafía, ya que los tres sitios se ubican en la zona de contacto de dos flujos de lavas, siendo los contactos litológicos una zona de discontinuidad que genera una permeabilidad secundaria a estas zonas. Adicionalmente y de manera relevante debemos citar que los tres manantiales se encuentran localizados dentro de la extensión de un corredor estructural NW-SE, identificado en los trabajos de perforación, el cual constituye uno de los tres principales dominios estructurales presentes en la zona. Estas zonas de fallamiento pueden conducir el flujo de agua de infiltración, con más razón si estos sitios se ubican a mitad de pendiente hacia la quebrada Quinuahuycu, por lo que el flujo se ve favorecido por la acción de la gravedad hacia el Este.

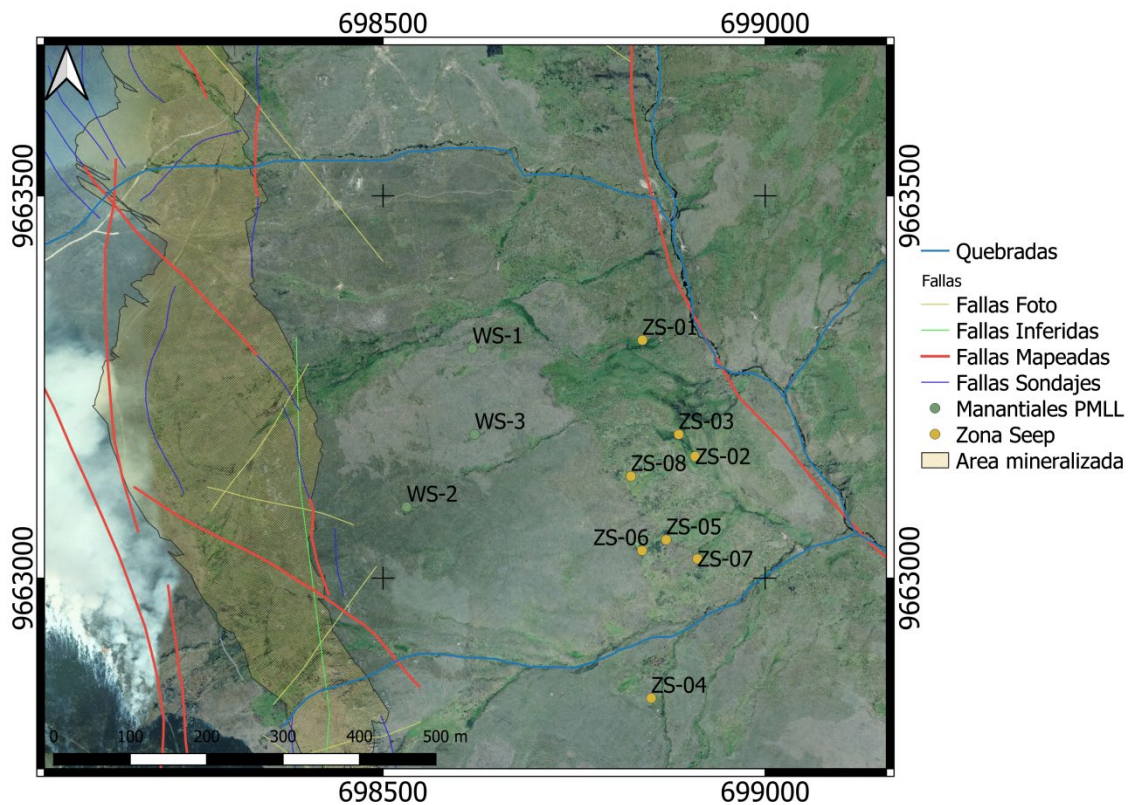


Figura 6 Mapa de la zona de estudio con los sitios correspondientes a Manantiales y Zona Seep.

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

En la Figura 7 se pueden observar los valores correspondientes a EC de todos los sitios, separados en valores de referencia de quebradas, humedales, piezómetros, manantiales, y la llamada zona seep (Zona donde el nivel de agua subterránea coincide con la topografía superficial, produciendo una descarga difusa de agua subterránea a la superficie). Se puede identificar los 3 manantiales encontrados (puntos rojos), cuyos valores se encuentran muy por encima del umbral seleccionado y cuya fuente de agua subterránea, según los valores de EC de los piezómetros, está entre los 12 y 22 m de profundidad lo cual corresponde al sistema poco profundo de páramo descrito en el informe de aguas subterráneas que se encuentra en el EIA.

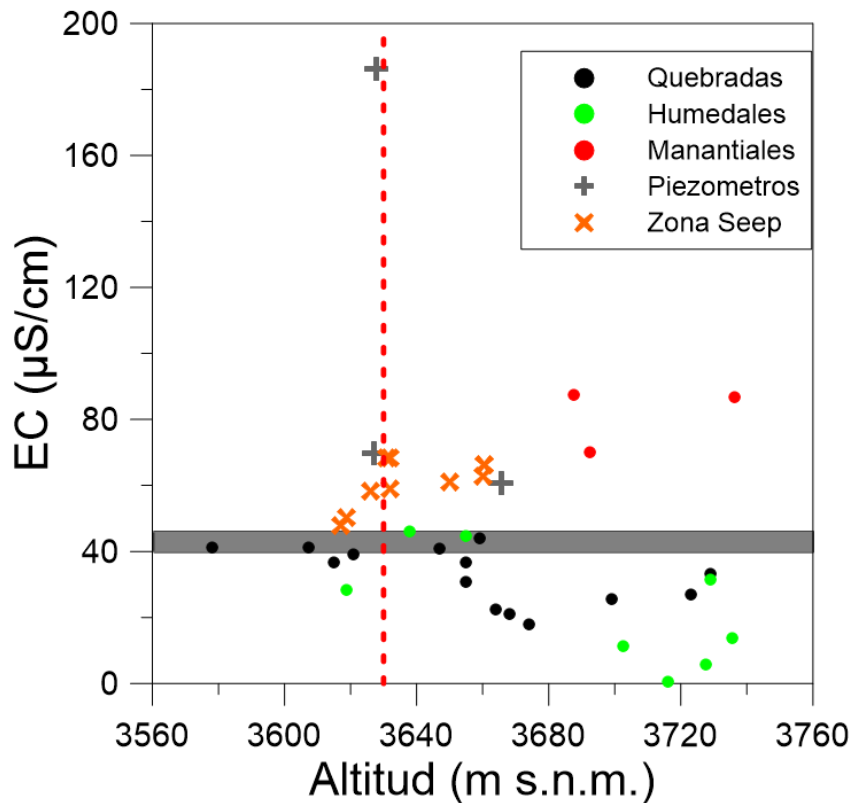


Figura 7 Identificación de valores atípicos en base a los valores de EC y altitud dentro de la zona de influencia del PMLL. La barra gris indica el umbral encontrado entre 44 y 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una anomalía en valores de EC se identifica por encima del umbral y que permite identificar manantiales y zona seep. La línea roja entrecortada representa la altitud a la que se ubica la zona seep de acuerdo al memorando técnico “Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga” presentado por ITASCA.

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

4.3 Zona Seep (sitios en humedales con anomalías)

Adicionalmente, se identificaron sitios en las quebradas que presentaron anomalías, pero al rastrear la fuente de las mismas la quebrada se perdía al llegar a zonas con humedales que se encuentra al este de los sitios y cercanos a la quebrada Quinuahuaycu. Todos los sitios estuvieron localizados en una misma zona (sur este) y ligados a una zona de humedales. Una vez localizados estos humedales, se realizaron medidas en el agua del suelo del humedal con lo que se encontró valores por encima de las referencias (Tabla 8).

Tabla 8 Ubicación y valores de parámetros medidos en sitios de humedales cuyos valores presentan anomalías.

Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur			Parámetros Físicos				Observaciones
	Este (m)	Norte (m)	Elevación	pH	Temperatura (°C)	EC (μS/cm)	TDS (ppm)	
ZS-01	699091	9663676	3631	6.96	9.57	68.27	44.38	Salida de humedal
ZS-02	699160	9663524	3617	6.58	12.30	47.98	31.17	Salida de humedal
ZS-03	698887	9663188	3619	7.14	13.09	50.13	32.59	Humedal de aporte
ZS-04	698851	9662843	3661	5.45	10.78	66.32	43.12	Humedal de aporte
				6.03	10.99	68.17	44.28	
ZS-05	699122	9663415	3632	6.67	10.21	68.48	44.52	Salida de humedal
ZS-06	698838	9663036	3650	6.02	10.17	61.11	39.72	Humedal de aporte
ZS-07	699163	9663390	3626	6.34	10.50	58.19	37.83	Humedal
ZS-08	699076	9663498	3632	6.75	10.03	58.96	38.32	Humedal

Fuente: Guía de campo equipo consultor, 2020.

Elaboración: Patricio Lazo, Patricio Crespo, 2020.

En la Figura 7 se puede observar que los valores de EC se encuentran por encima de las referencias de los humedales y quebradas, lo que sugiere que esta zona de humedales corresponde a una zona seep de las aguas subterráneas lo cual fue identificado en el estudio de aguas subterráneas (ver Figura 8), es decir; que toda esta zona de humedales se encuentra alimentada por el aporte de aguas subterráneas. Esto se debe a que el nivel freático del agua subterránea alcanza la superficie en la zona de ladera antes de llegar a la quebrada Quinahuyacu. Esto produce en dicha zona que generalmente están cubierta por depósitos morrénicos y de aluvión, que tienen una alta permeabilidad por su composición de rodados de diferentes tamaños y matriz de suelos, arcillas y clastos mal clasificados, lo que permite se produzcan manantiales difusos que se definen como un manantial en el que la descarga se produce a través de numerosos y pequeños lugares de salida, por lo que los valores de EC superiores al de los humedales de referencia. Esto se observa claramente en el mapa geológico, estos sitios se encuentran en los bordes al E y SE del cuerpo de morrena mapeado en el sector.

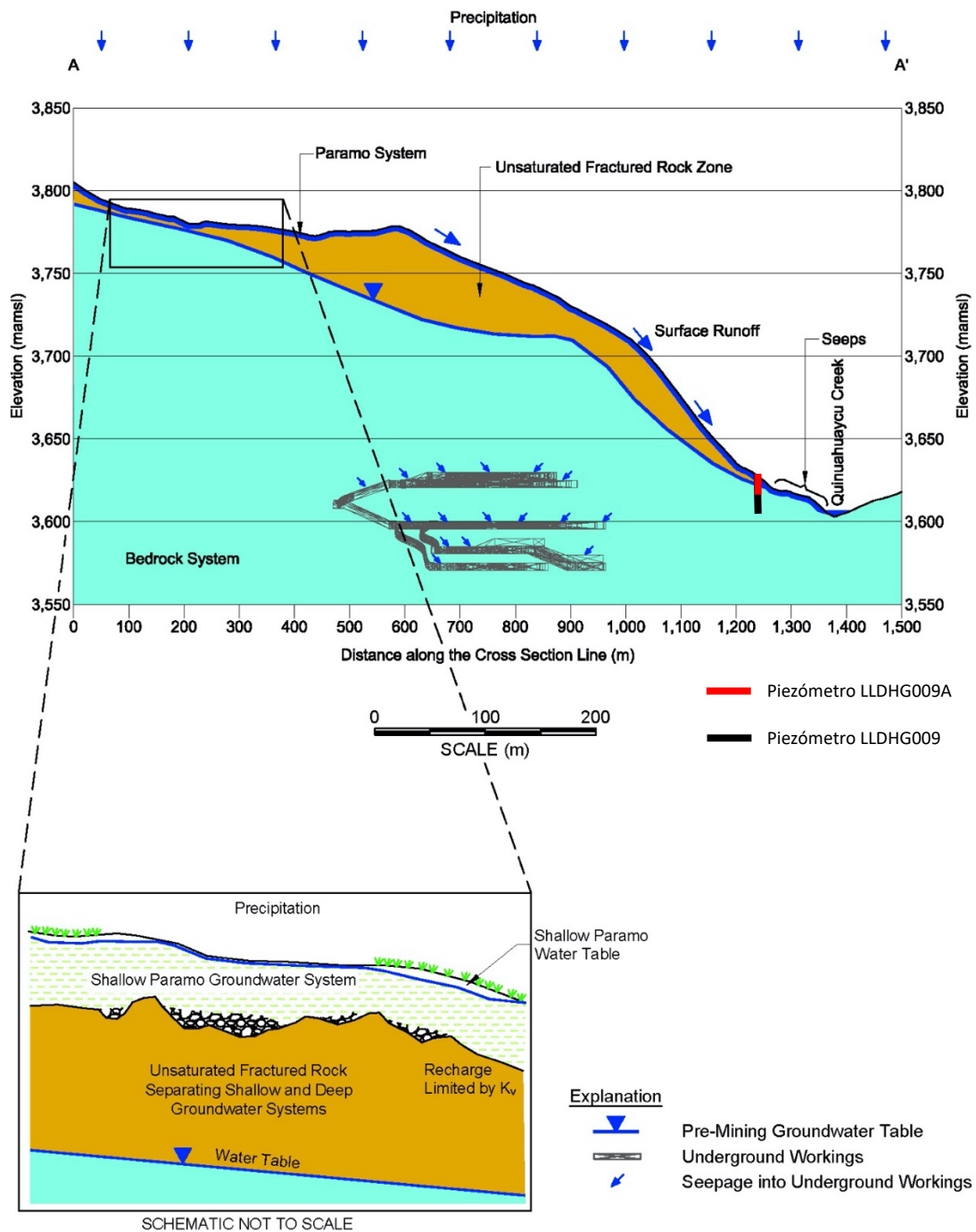


Figura 8 Esquema de la zona de descarga de aguas subterráneas de la zona de influencia del proyecto minero "Loma Larga". Las líneas roja y negra indican la ubicación y profundidad a escala de los piezómetros LLDHG009A y LLDHG009, respectivamente.

Fuente: ITASCA memorando técnico "Soporte del EIA sobre geoquímica y agua subterránea de Loma Larga"

También se puede observar en la Figura 7 que los valores de EC dentro de la zona seep son valores similares a los presentados por los piezómetros de 12m y 15m (LLDHG-009A y LLDHG-010, respectivamente), y dado que el piezómetro LLDHG-009A está en contacto con la zona seep, se puede asumir que los valores encontrados en estos humedales corresponden a dicha

zona, a pesar de que existen sitios con altitudes mayores, ya que la altitud de esta zona puede variar de acuerdo con la morfología de la ladera. Los valores de EC no son tan altos como el del piezómetro LLDHG-009 (186.04 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual implica que el volumen de agua transportada en el sistema de páramo es mucho mayor al sistema de roca subyacente (bedrock) (ver Figura 8). Esto anterior causa una dilución del agua y mantiene las propiedades del agua más superficial del sistema de páramo.

5. Conclusiones

- Dentro de la zona de influencia del proyecto se han encontrado 3 manantiales que corresponden a los sitios WS-1, WS-2, y WS-3, los cuales mostraron valores de EC muy por encima de los valores de referencia (46 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estos manantiales ocurren debido a factores estructurales, de estratigrafía y gravitacionales, que permiten que fallas de dirección NW-SE en conjunto con zonas de mayor permeabilidad generadas por contactos litológicos de la secuencia volcánica y acción de la gravedad, transporten aguas de infiltración poco profundas hacia la superficie.
- Adicionalmente se pudo observar la presencia de manantiales difusos o zona seep en humedales, localizados a los márgenes de depósitos de morrenas y aluviones, mapeados en el campo, que son recargados por la zona de descarga de aguas subterráneas, como se describe en el estudio de aguas subterráneas. Esta información de campo corrobora el modelo de agua subterránea y superficial planteado en el mencionado estudio.
- De acuerdo con los valores obtenidos en las pruebas ejecutadas de los piezómetros de la referencia, el agua que se encuentra saliendo por los manantiales podría tener una profundidad no mayor de entre 15 a 20m.

6. Referencias

Mosquera GM, Segura C, Vaché KB, Windhorst D, Breuer L, Crespo P. 2016. Insights into the water mean transit time in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrology and Earth System Sciences*. Copernicus GmbH **20**(7): 2987–3004. DOI: 10.5194/hess-20-2987-2016.

Anexo 1. Fotos de los sitios monitoreados.



Sito de monitoreo Q-01: Quebrada



Sito de monitoreo Q-02: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-03: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-04: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-05: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-06: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-07: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-08: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-09: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-10: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-11: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-12: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-13: Quebrada



Sitio de monitoreo Q-14: Quebrada



Sitio de monitoreo H-01: Humedal



Sitio de monitoreo H-02: Humedal



Sitio de monitoreo H-03: Humedal



Sitio de monitoreo H-04: Humedal



Sitio de monitoreo H-05: Humedal



Sitio de monitoreo H-06: Humedal



Sitio de monitoreo H-07: Humedal



Sitio de monitoreo H-08: Humedal



Sitio de monitoreo WS-1: Manantial



Sitio de monitoreo WS-1.1: Manantial



Sitio de monitoreo WS-2: Manantial



Sitio de monitoreo WS-3: Manantial



Sitio de monitoreo ZS-01: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-02: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-03: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-04: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-05: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-06: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-07: Zona Seep.



Sitio de monitoreo ZS-08: Zona Seep.