

CAPÍTULO 7. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

***“ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EXANTE PARA LAS
FASES DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN SIMULTÁNEA DE
MATERIALES METÁLICOS BAJO EL RÉGIMEN DE PEQUEÑA
MINERÍA DEL ÁREA MINERA ALESSIA CÓDIGO 100000246”***

REALIZADO POR:



PARA:

BOWEN MANCHENO GEOVANNA

ABRIL - 2023

REGISTRO DE CAMBIOS				
No.	Documento	Motivo del cambio	Responsable	Fecha
01	Versión 1	Elaboración del EslA	M. López	Jul-2019
02	Versión2	Respuestas Observaciones MAATE	Equipo Técnico	Nov-2021
03	Versión3	Respuestas Observaciones MAATE	Equipo Técnico	Abr-2023
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				

TABLA DE CONTENIDO

7	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	7-1
7.1	COMPONENTE FÍSICO	7-2
7.1.1	<i>Climatología</i>	7-2
7.1.2	<i>Geología y Sismicidad.....</i>	7-14
7.1.3	<i>Hidrogeología.....</i>	7-38
7.1.4	<i>Edafología</i>	7-43
7.1.5	<i>Suelos.....</i>	7-45
7.1.6	<i>Uso de Suelo</i>	7-55
7.1.7	<i>Hidrología</i>	7-56
7.1.8	<i>Calidad de Agua</i>	7-61
7.1.9	<i>Nivel de Presión Sonora.....</i>	7-74
7.1.10	<i>Calidad de Aire y Emisiones</i>	7-77

INDICE DE TABLAS

Tabla 7-1	Estaciones Meteorológicas Analizadas	7-2
Tabla 7-2	Resumen de Temperatura en la Estación Puyo	7-5
Tabla 7-3	Resumen de Precipitaciones en la Estación Puyo	7-7
Tabla 7-4	Resumen de Evaporación en la Estación Puyo	7-9
Tabla 7-5	Resumen de Humedad Relativa en la Estación Puyo	7-10
Tabla 7-6	Resumen de Heliofanía en la Estación Puyo	7-12
Tabla 7-7	Resumen de Nubosidad en la Estación Puyo	7-12
Tabla 7-8	Fuentes principales de consulta	7-14
Tabla 7-9	Sismos Cercanos al Área de Estudio	7-29
Tabla 7-10	Sismos Cercanos al Área de Estudio	7-29
Tabla 7-11	Geoformas del proyecto	7-33
Tabla 7-12	Características morfométricas y morfológicas	7-33
Tabla 7-13	Categorías de pendientes	7-36
Tabla 7-14	Unidades litológicas	7-40
Tabla 7-15	Ubicación de las Muestras de Suelo Físico Mecánico – enero 2018	7-45
Tabla 7-16	Resultados Físico Mecánicos de Muestras de Suelo	7-45
Tabla 7-17	Ubicación de las Muestras de Suelo – Muestreo 1	7-46
Tabla 7-18	Ubicación de las Muestras de Suelo – Muestreo 2	7-46
Tabla 7-19	Parámetros Químicos Analizados en Muestras de Suelo	7-48
Tabla 7-20	Resultados Químicos de Muestras de Suelo	7-50
Tabla 7-21	Uso actual del Suelo	7-56
Tabla 7-22	Cuencas Hidrográficas del Área Minera Alessia	7-57
Tabla 7-23	Ubicación Sitios de Muestreo para la Caracterización Hidrométrica y Calidad de Agua	7-60
Tabla 7-24	Características hidrométricas	7-61
Tabla 7-25	Ubicación Sitios de Muestreo para la Caracterización Hidrométrica y Calidad de Agua	7-63
Tabla 7-26	Parámetros Analizados para Calidad de Agua	7-63
Tabla 7-27	Resultados Químicos de Muestras de Agua	7-66
Tabla 7-28	Ubicación de los Monitoreos de Ruido	7-75
Tabla 7-29	Resultados de Monitoreo de Ruido Ambiental	7-76

INDICE DE FIGURAS

Figura 7-1	Metodología de Línea Base	7-1
Figura 7-2	Análisis de las Estaciones más Cercanas con el Mapa Bioclimático del MAE	7-3
Figura 7-3	Temperaturas Absolutas en la Estación Puyo	7-4
Figura 7-4	Temperaturas Medias en la Estación Puyo	7-4
Figura 7-5	Precipitación Mensual en la Estación Puyo	7-5
Figura 7-6	Precipitación Anual en la Estación Puyo	7-6
Figura 7-7	Días con Precipitación en la Estación Puyo	7-7
Figura 7-8	Evaporación Mensual en la Estación Puyo	7-8
Figura 7-9	Evaporación Anual en la Estación Puyo	7-8
Figura 7-10	Balance Hídrico en la Estación Puyo	7-9
Figura 7-11	Humedad Relativa en la Estación Puyo	7-10
Figura 7-12	Heliofanía en la Estación Puyo	7-11
Figura 7-13	Nubosidad en la Estación Puyo	7-12
Figura 7-14	Velocidad del Viento en la Estación Puyo	7-13
Figura 7-15	Dirección del Viento en la Estación Puyo	7-13
Figura 7-16	A) Esquema geológico - geomorfológico del Ecuador, B) Mayores terrenos Geotectónicos, C) Ubicación Cuenca oriente	7-15
Figura 7-17	Geología regional del proyecto	7-16
Figura 7-18	Ubicación de la Cuenca Oriente en los Andes centrales y septentrionales	7-17
Figura 7-19	Geología local del proyecto	7-21
Figura 7-20	Columna estratigráfica de la Cuenca Oriente	7-22
Figura 7-21	Sección Estructural Cuenca Oriente con sus tres corredores estructurales	7-25
Figura 7-22	Distribución regional de los cuerpos extrusivos e intrusivos	7-27

Figura 7-23	Divisiones sismotectónicas del Ecuador en la placa superior a) Alvarado, 2012; b) Ortiz, 2013	7-28
Figura 7-24	Mapa de Nivel de Amenaza Sísmica	7-28
Figura 7-25	Eventos de terremotos históricos regionales	7-30
Figura 7-26	Mapa de Nivel de Amenaza Volcánica.....	7-31
Figura 7-27	Morfología de la Cuenca Oriente.....	7-32
Figura 7-28	Geoformas del proyecto	7-33
Figura 7-29	Unidad geomorfológica tipo “testigo cono de esparcimiento” en el área de estudio (vista en planta)..7-35	
Figura 7-30	Unidad geomorfológica tipo “vertiente rectilínea” en el área de estudio	7-36
Figura 7-31	Mapa de pendientes	7-37
Figura 7-32	Mapa Hidrogeológico del Ecuador	7-40
Figura 7-33	Hidrogeología del área de estudio.....	7-41
Figura 7-34	Mapa de Recursos Hídricos Subterráneos del Ecuador.....	7-42
Figura 7-35	Mapa de Nivel de Amenaza Sísmica	7-44
Figura 7-36	Resultados Muestras de Suelo (CE, pH, Fluoruros, CN-, As, S, Ba, B)	7-52
Figura 7-37	Resultados Muestras de Suelo (Cd, Co, Cu, Cr, Sn, Hg, Mo, Ni)	7-53
Figura 7-38	Resultados Muestras de Suelo (Pb, Se, V, Zn, Índice SAR, Aceites y grasas, TPH, Humedad).....	7-54
Figura 7-39	Sistema hidrográfico del área del proyecto.....	7-56
Figura 7-40	Unidades hidrográficas N5, N6 y N7	7-57
Figura 7-41	Ejemplo de Levantamiento Sección Transversal y Toma de Velocidad.....	7-59
Figura 7-42	Variación de velocidad de flujo en base a la profundidad	7-60
Figura 7-43	Resultados Muestras de Agua (pH, CE, OD, SST, Amonio, Nitrato, Nitrito)	7-69
Figura 7-44	Resultados Muestras de Agua (CN-, Cl, Aceites y grasas, DBO, DQO, Fenoles, TPH, Tensoactivos) ...	7-70
Figura 7-45	Resultados Muestras de Agua (Coliformes, Al, As, Ba, Be, B, Cd, Co)	7-71
Figura 7-46	Resultados Muestras de Agua (Cu, Cr, Sn, Fe, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb).....	7-72
Figura 7-47	Resultados Muestras de Agua (Se, Zn)	7-73
Figura 7-48	Resultados Monitoreo de Ruido Ambiental	7-76

PAGINA EN BLANCO

7 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

La línea base o diagnóstico ambiental es una descripción de las condiciones existentes en un área y tiempo determinado, de modo que, mediante monitoreo futuros se puedan evaluar los subsecuentes cambios y/o variaciones que se podrían presentar por la ejecución de un proyecto, obra o actividad.

Este capítulo ha sido desarrollado en concordancia con la estructura descrita en los Términos de Referencia aprobados por la Autoridad Ambiental Competente para el presente estudio, cumpliendo con los lineamientos establecidos en el Acuerdo Ministerial 061 que reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, y Reglamento Ambiental de Actividades Mineras - RAAM (Acuerdo Ministerial 37 emitido con Registro Oficial Suplemento 213 de marzo del 2014).

El análisis de todos los componentes ambientales en el presente capítulo, se ha basado en la metodología definida y aceptada por el Ministerio del Ambiente, misma que ha sido aprobada en los términos de referencia establecidos para el presente estudio, a través de los Diagnósticos Ambientales Rápidos, los cuales permiten obtener información confiable, cualitativa y cuantitativa en cortos períodos de tiempo.

Esta metodología inició con una revisión analítica y sistemática de los estudios ambientales previos relacionados con el área del proyecto. Sobre esa base, se planificó una fase de campo donde el grupo de técnicos centró su accionar para evaluar las condiciones actuales del área de estudio, tanto del área específica del proyecto como de su área de influencia, así como de los diferentes componentes ambientales (físico, biótico y socio económico).

La evaluación fue realizada por distintos técnicos especialistas, formándose así un equipo multidisciplinario con criterios técnicos e integrales para una mejor caracterización actual de la zona de estudio.

De esta manera se logra complementar la revisión bibliográfica con las condiciones actuales del área de estudio.

Figura 7-1 Metodología de Línea Base



Fuente: MAE, 2014. / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

El Área de Estudio del presente proyecto, dentro de la cual se llevó a cabo el levantamiento de información in situ, consideró los siguientes criterios para su definición:

- Área de la Concesión Minera.
- Ubicación del área específica donde se implantará el proyecto.
- Certificado de Intersección.
- Ubicación de sitios y receptores sensibles.
- Jurisdicción político administrativa.
- Sistemas Hidrográficos y Geológicos.
- Condiciones y características del área del proyecto.

Todos los trabajos de muestreo y/o monitoreo fueron realizados por un equipo multidisciplinario, cuyas firmas de responsabilidad se encuentra en el Anexo D. Firmas del Equipo Multidisciplinario y las evidencias fotográficas fechadas en el Anexo E.1. Registro Fotográfico.

Los muestreos de calidad ambiental fueron realizados con un Laboratorio acreditado ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) y la Asociación Americana para Acreditación de Laboratorios (A2LA), contando también con la certificación de calidad ISO 9001:2008 como se aprecia en el Anexo E.2. Documento 1, así mismo los resultados de los análisis de laboratorio correspondiente a agua, suelo y ruido se adjuntan en el Anexo E.2. Documento 2, 3 y 4.

7.1 COMPONENTE FÍSICO

7.1.1 CLIMATOLOGÍA

7.1.1.1 Metodología

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se entiende por clima a las “*condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y periodo de tiempo determinados*”.

La caracterización del clima de un determinado lugar se lo puede realizar analizando las variaciones mínimas, medias y extremas de los principales factores climáticos, a través de la utilización de técnicas estadísticas de variabilidad y tendencia en base a una serie de datos estadísticamente confiable.

El proyecto minero se encuentra dentro de la región Amazónica ecuatoriana, donde la precipitación es relativamente constante durante todo el año, por lo cual ningún mes muestra un déficit de humedad en estos lugares. (PDOT, 2014).

El área del proyecto está determinada por las características generales de la zona tropical resultado de la convergencia de vientos de los dos hemisferios, presión uniforme, alta temperaturas y elevada humedad que dan origen al llamado régimen Oriental caracterizado por no presentar variaciones estacionales muy marcadas (PDOT, 2014).

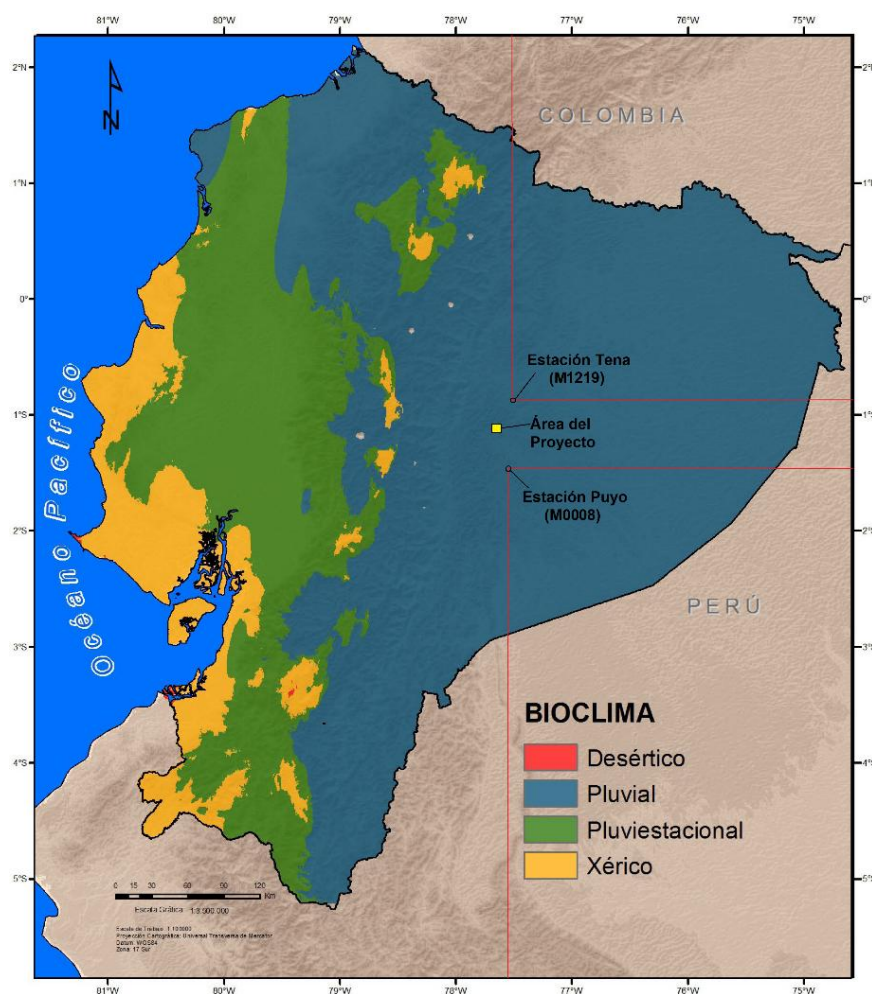
El primer paso a seguir fue identificar la estación meteorológica que cuente con datos estadísticamente confiables (periodo mínimo de 10 años consecutivos), que se encuentre más cerca al área del proyecto y con las mismas condiciones orográficas y bioclimáticas, en ese sentido a continuación se presentan las Estaciones Meteorológicas más idóneas.

Tabla 7-1 Estaciones Meteorológicas Analizadas

Código	Nombre	Tipo de Estación	Coordenadas		Coordenadas UTM (WGS 84 Zona 17 Sur)		Altitud (msnm)	Distancia al área de concesión minera (km)
			Latitud	Longitud	Este	Norte		
M0070 / M1219	Tena	CO (Climatológica Ordinaria)	00°55'01"	77°49'09"	854084	9898492	665	29
M0008	Puyo	AP (Agro meteorológica)	01°30'27"	77°56'38"	840113	9833137	960	39

Fuente: INAMHI, 2019 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Figura 7-2 Análisis de las Estaciones más Cercanas con el Mapa Bioclimático del MAE



Fuente: MAE, 2013. / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Como se puede apreciar en la tabla y figura anterior, las estaciones más cercanas son la Estación Tena y Puyo, con una distancia aproximada de 29 y 39 kilómetros al área del proyecto, respectivamente. Adicionalmente se verifica que las dos estaciones se encuentran dentro del mismo tipo de bioclima PLUVIAL, según el mapa generado por el Ministerio del Ambiente en 2013.

Sin embargo, al realizarse el análisis de datos existentes se verificó que la estación Tena (M0070) mantiene registros parciales de datos oficiales desde el año 1991 hasta el año 2000, posteriormente se instala una nueva estación en 2009 (Estación Tena Hacienda Chaupi Shungo – MB93 o M1219), misma que cuenta con registros de datos oficiales desde el año 2009 hasta el año 2013. Por su parte la estación Puyo (M0008) mantiene registros de datos oficiales desde el año 1990 hasta el año 2013, contándose con 24 años consecutivos de información, lo cual permitirá realizar una mejor caracterización del clima del sector. (Anexo E.2. Documento 5)

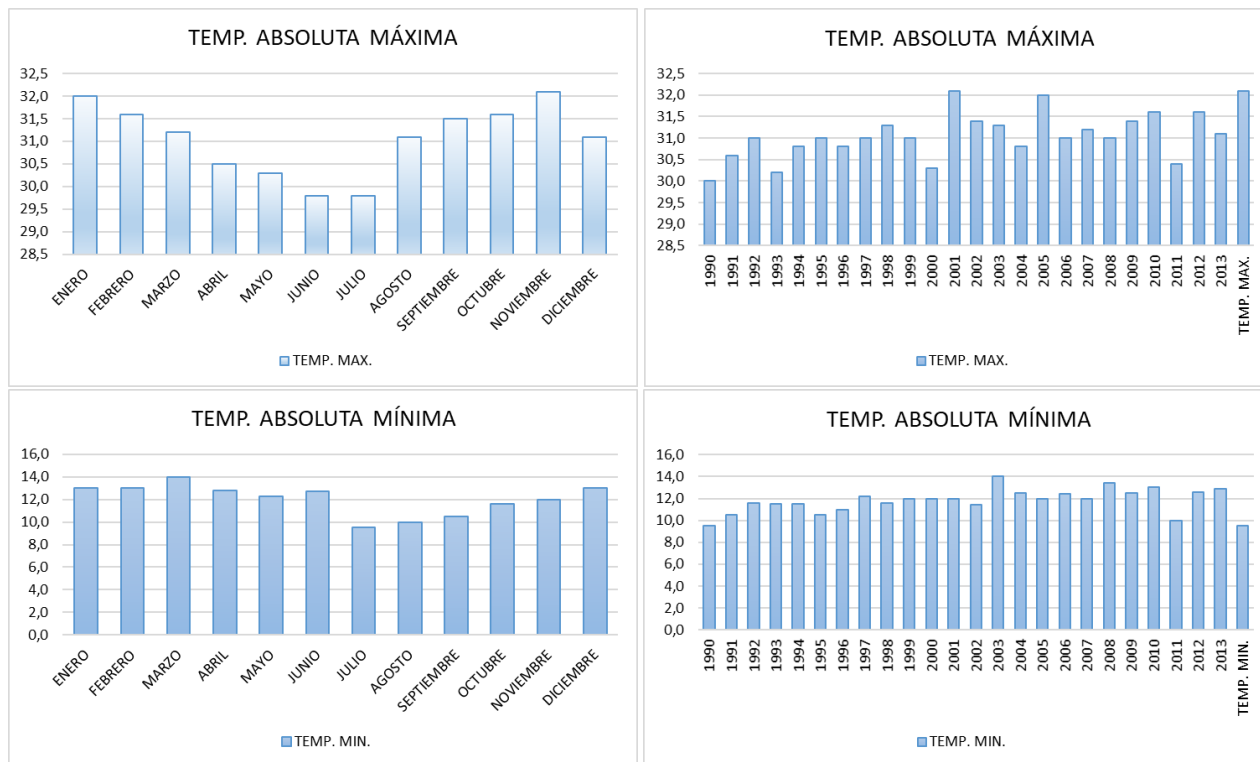
En consecuencia, para realizar la descripción del clima en la zona del proyecto, se utilizó la información de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de la estación Puyo.

7.1.1.2 Temperatura

La temperatura nos permite conocer el nivel de energía térmica con que cuenta un cuerpo, se mide en un termómetro expuesto al aire y protegido de la radiación solar directa. (INAMHI)

La temperatura absoluta máxima en la estación Puyo dentro del periodo 1990-2013 presenta un valor de 32,1°C perteneciente a noviembre del 2001, mientras que la temperatura absoluta mínima registrada es de 9,5°C perteneciente a julio del 1990, como se aprecia en las siguientes figuras.

Figura 7-3 Temperaturas Absolutas en la Estación Puyo

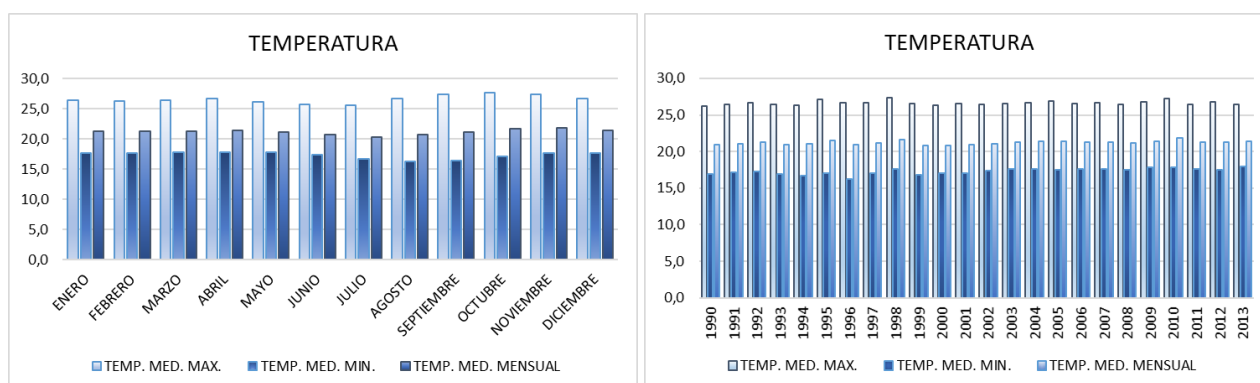


Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Nótese que el rango de temperatura absoluta máxima presenta valores entre 27,7°C y 32,1°C, siendo los años con los picos más altos 2003 y 2008. Así mismo el rango de temperatura absoluta mínima presenta valores entre 9,5°C y 17,0°C, siendo los años con los valores más bajos de temperatura 1990 y 2001.

Por otro lado, se aprecia que la temperatura media máxima registrada en el periodo analizado es de 26,6°C, la temperatura media mínima es de 17,3°C y la temperatura media mensual es de 21,2°C, como se aprecia en las siguientes figuras.

Figura 7-4 Temperaturas Medias en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De acuerdo al mapa de isotermas publicado por el INAMHI, la concesión minera se encuentra en un área que presenta temperaturas entre 22 y 24 °C, valores que se asemejan a la temperatura media mensual

determinada en la estación Puyo. El mapa de isotermas se adjunta en el Anexo B. Cartografía, 7.3 Mapa de Isotermas e Isoyetas.

Nótese que las que el rango de temperatura media máxima presenta valores entre 24,3°C y 28,7°C, el rango de temperatura media mínima presenta valores entre 15,1°C y 19,0°C, y el rango de temperatura media mensual presenta valores entre 19,6°C y 22,6°C, manteniéndose una mínima variación de temperaturas medias a lo largo de los meses y años registrados. A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-2 Resumen de Temperatura en la Estación Puyo

Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Temperatura Absoluta Máxima (°C)	27,7	29,8	32,1	1990-2013	INAMHI
Temperatura Absoluta Mínima (°C)	9,5	14,2	17,0	1990-2013	INAMHI
Temperatura Media Máxima (°C)	24,3	26,6	28,7	1990-2013	INAMHI
Temperatura Media Mínima (°C)	15,1	17,3	19,0	1990-2013	INAMHI
Temperatura Media Mensual (°C)	19,6	21,2	19,6	1990-2013	INAMHI

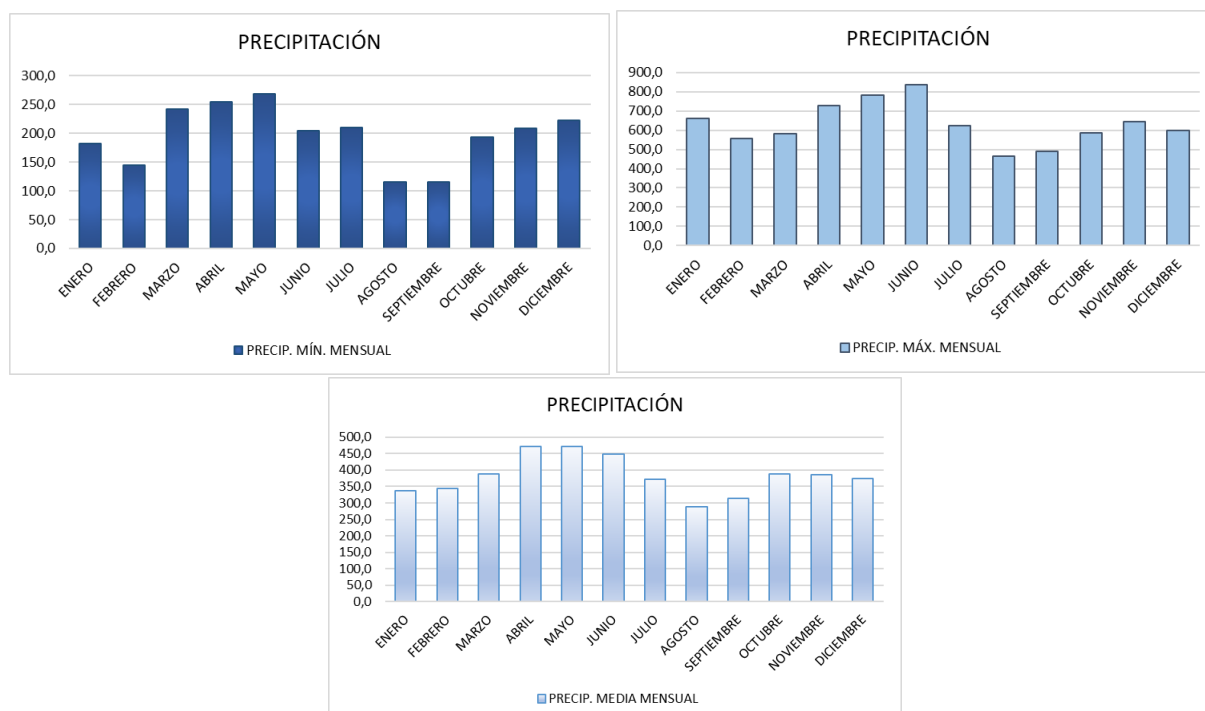
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.3 Precipitación

Consiste en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, hielo granulado, entre otros, desde las nubes a la superficie de la tierra. Se mide en alturas de precipitación en mm, que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado. (INAMHI)

La precipitación media mensual en la estación Puyo, durante el periodo 1990-2013, presenta un valor mínimo de 114,7 mm registrado en agosto de 1991, máximo de 835,7 mm registrado en junio de 1991 y promedio de 381,8 mm.

Figura 7-5 Precipitación Mensual en la Estación Puyo



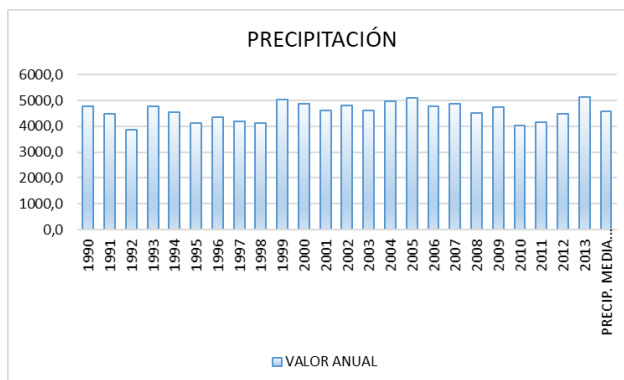
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Nótese que las precipitaciones mínimas mensuales registradas pertenecen a los meses de agosto y septiembre, las precipitaciones máximas mensuales registrada pertenecen a los meses de mayo y junio.

Por su parte, en base a la precipitación media mensual, se puede observar que los meses con mayor precipitación en el año son abril, mayo y junio, mientras que los meses con menor precipitación son agosto y septiembre.

Por otro lado, se registra que el valor anual de precipitación promedio es de 4582 mm, el máximo es de 5120 mm registrado en el año 2013 y el mínimo es de 3865 mm registrado en el año de 1992, como se puede apreciar a continuación.

Figura 7-6 Precipitación Anual en la Estación Puyo

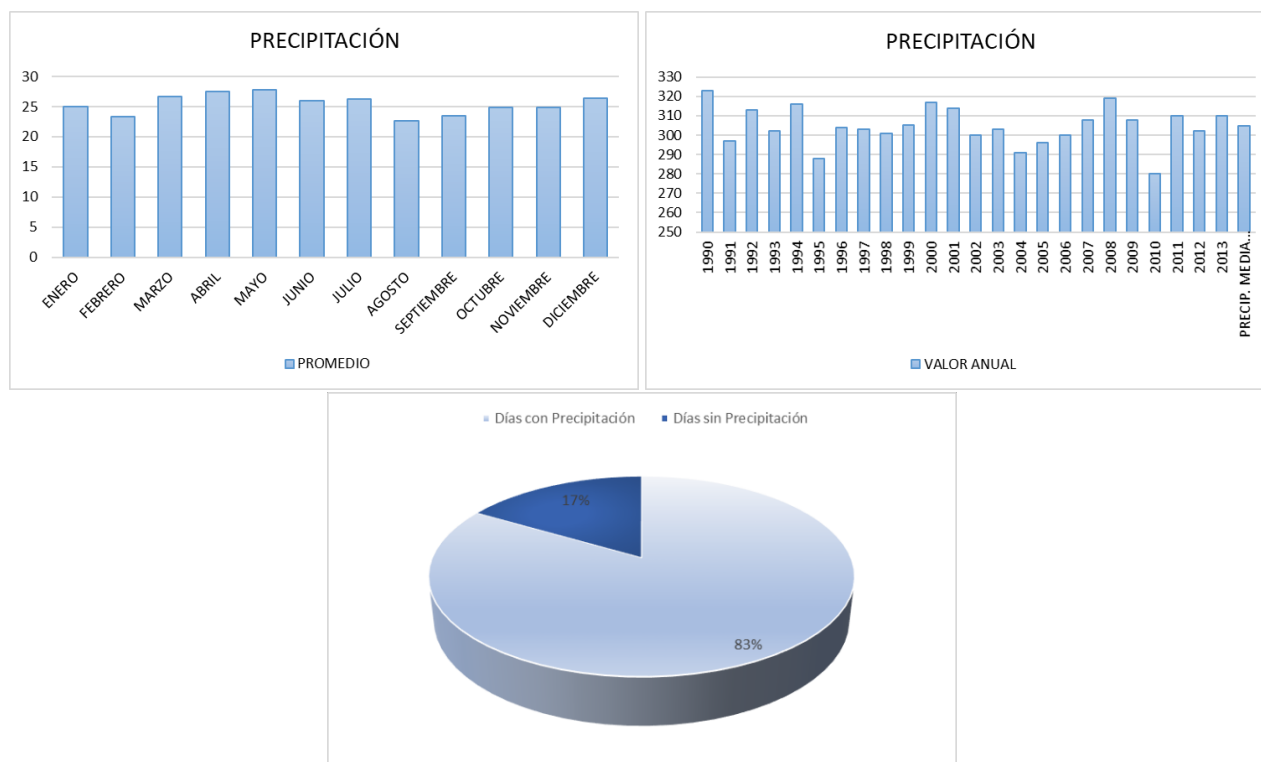


Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De acuerdo al mapa de isoyetas publicado por el INAMHI, la concesión minera se encuentra en un área que presenta precipitaciones en un rango de 4000 a 5000 mm al año, rango dentro del cual se encuentra la precipitación promedio anual determinada en la estación Puyo que fue de 4582 mm. El mapa de isoyetas se adjunta en el Anexo B. Cartografía, 7.3 Mapa de Isotermas e Isoyetas.

Otro aspecto importante que se debe conocer tiene que relación con el número de días con precipitación registrados en la estación Puyo, mismos que para este caso pertenecen en promedio a 305 días/año, mínimo 280 días/año registrado en el 2010 y máximo 323 días/año registrado en el 1990. Se puede concluir que el área del proyecto tiene en promedio un 83% de días al año con presencia de precipitación.

Figura 7-7 Días con Precipitación en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-3 Resumen de Precipitaciones en la Estación Puyo

Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Precipitación Mínima Mensual (mm)	288,7	381,8	471,2	1990-2013	INAMHI
Precipitación Máxima Mensual (mm)	114,7	196,8	268,7	1990-2013	INAMHI
Precipitación Media Mensual (mm)	464,7	629,3	835,7	1990-2013	INAMHI
Precipitación Anual (mm)	3865	4582	5120	1990-2013	INAMHI
Días con precipitación al año (días)	280	305	323	1990-2013	INAMHI

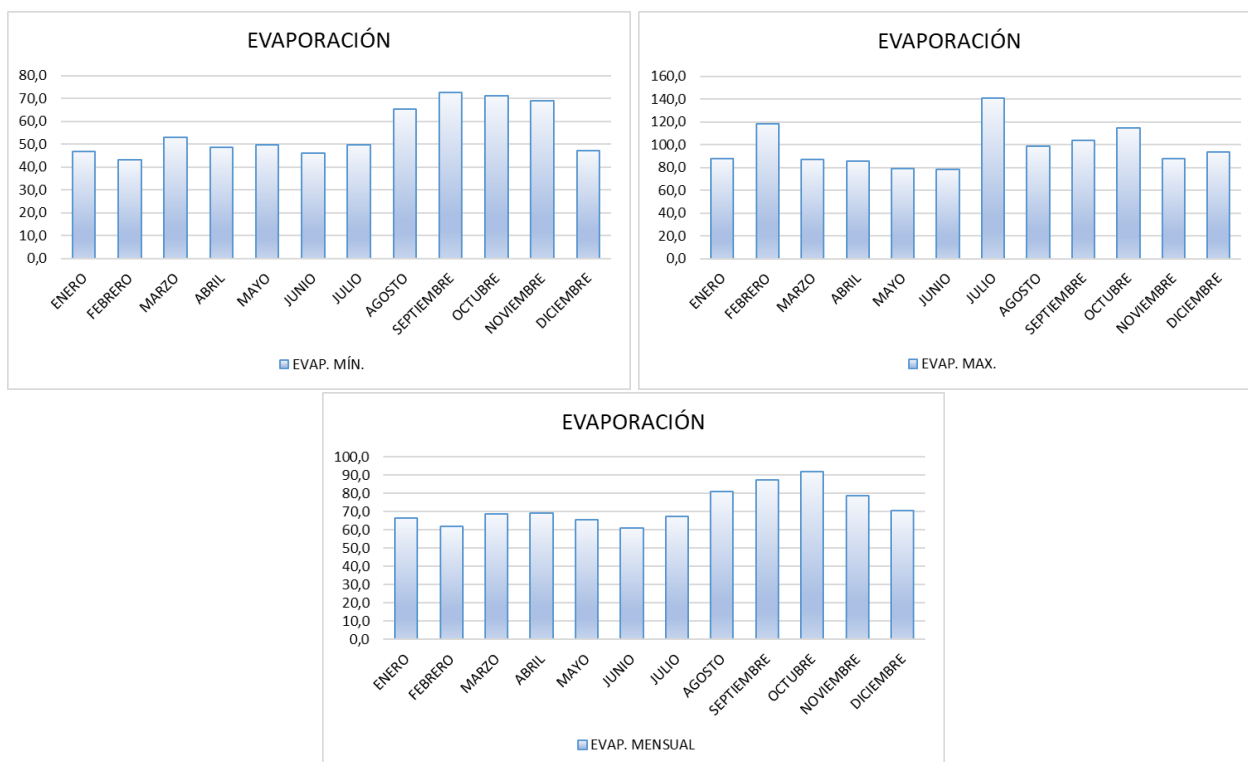
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.4 Evaporación

Se refiere a la emisión de vapor de agua a la atmósfera por una superficie libre de agua líquida pura, a una temperatura inferior al punto de ebullición. (INAMHI)

La evaporación media mensual en la estación Puyo, durante el periodo 1990-2013, presenta un valor mínimo de 43,3 mm registrado en febrero de 2013, máximo de 140,4 mm registrado en julio del 2007 y promedio de 72,6 mm.

Figura 7-8 Evaporación Mensual en la Estación Puyo



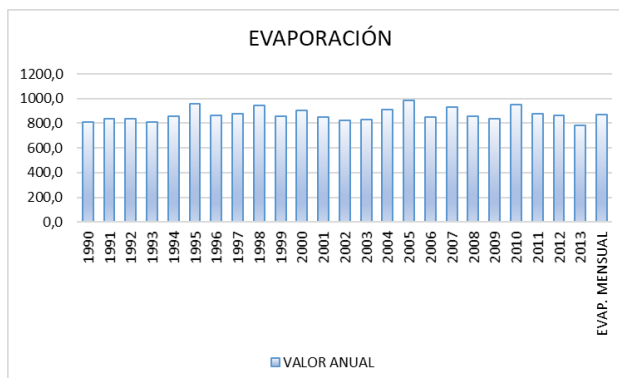
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Nótese que las evaporaciones mínimas mensuales registradas pertenecen a los meses de febrero y junio, las precipitaciones máximas mensuales registrada pertenecen a julio.

Por su parte, en base a la precipitación media mensual, se puede observar que los meses con mayor evaporación en el año son agosto, septiembre, octubre y noviembre, mientras que los meses con menor evaporación son febrero y junio.

Por otro lado, se registra que el valor anual de evaporación promedio es de 871,0 mm, el máximo es de 982,1 mm registrado en el año 2005 y el mínimo es de 783,7 mm registrado en el año de 2013, como se puede apreciar a continuación.

Figura 7-9 Evaporación Anual en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-4 Resumen de Evaporación en la Estación Puyo

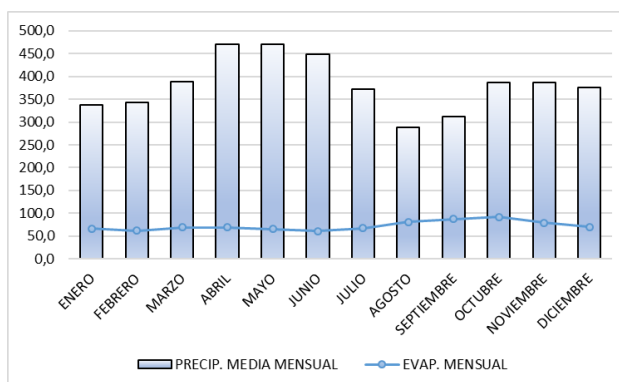
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Evaporación Mínima Mensual (mm)	43,3	55,3	72,8	1990-2013	INAMHI
Evaporación Máxima Mensual (mm)	78,3	97,8	140,4	1990-2013	INAMHI
Evaporación Media Mensual (mm)	61,1	72,6	91,9	1990-2013	INAMHI
Evaporación Anual (mm)	783,7	871,0	982,1	1990-2013	INAMHI

Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.5 Balance Hídrico

El balance hídrico es un equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan a un sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

Para realizar el balance hídrico del área de estudio se considera como entrada la precipitación anual obtenida y como salidas la evaporación. Los resultados indican que la evaporación nunca supera la cantidad de agua que precipita, por lo que en la zona no se registra déficit de agua, ya que la precipitación media mensual supera en al menos el triple de la evaporación media mensual, como se muestra a continuación.

Figura 7-10 Balance Hídrico en la Estación Puyo


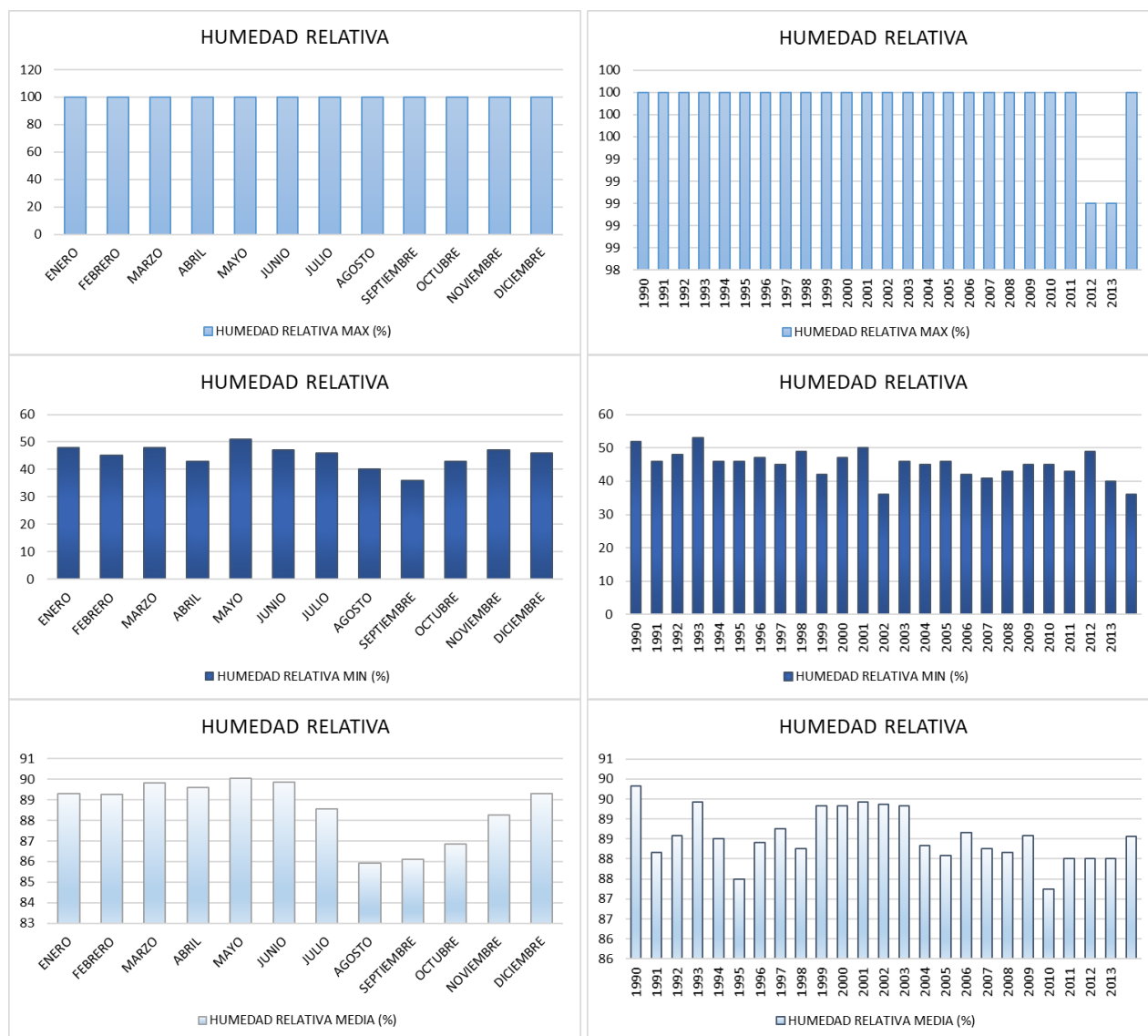
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.6 Humedad Relativa

Se define como la humedad atmosférica al contenido de vapor de agua en el aire y humedad relativa al grado de saturación de la atmosfera. Su unidad de medida es el porcentaje, mientras más alto sea el porcentaje, mayor es el grado de saturación de la atmosfera. (INAMHI)

La humedad relativa en la estación Puyo durante el periodo 1990-2013, presenta un valor máximo del 100% registrado en varios meses y años, un valor mínimo de 36% registrado en septiembre del 2002, y un valor medio de 89%.

Figura 7-11 Humedad Relativa en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Nótese que los meses con mayor humedad relativa promedio son marzo, abril, mayo y junio, mientras que los meses con menor humedad relativa promedio son agosto y septiembre.

A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-5 Resumen de Humedad Relativa en la Estación Puyo

Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Humedad Relativa Máxima (%)	98	99	100	1990-2013	INAMHI
Humedad Relativa Mínima (%)	36	55	68	1990-2013	INAMHI
Humedad Relativa Media (%)	84	89	92	1990-2013	INAMHI

Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.7 Heliofanía

Se define como heliofanía al tiempo de duración del brillo solar, se mide en horas y minutos de brillo solar. (INAMHI)

La heliofanía en la estación Puyo durante el periodo 1990-2013, presenta un valor máximo de 155 horas mensuales registrado en agosto de 1995, un valor mínimo de 12 horas mensuales registrado en febrero del 2000, y un valor medio de 88 horas mensuales.

Figura 7-12 Heliofanía en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Nótese que los valores de heliofanía medios más altos se presentan en los meses de agosto, septiembre y octubre, mientras que los más bajos en febrero y marzo. Además, se ha registrado un valor medio anual de 1060 horas.

A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-6 Resumen de Heliofanía en la Estación Puyo

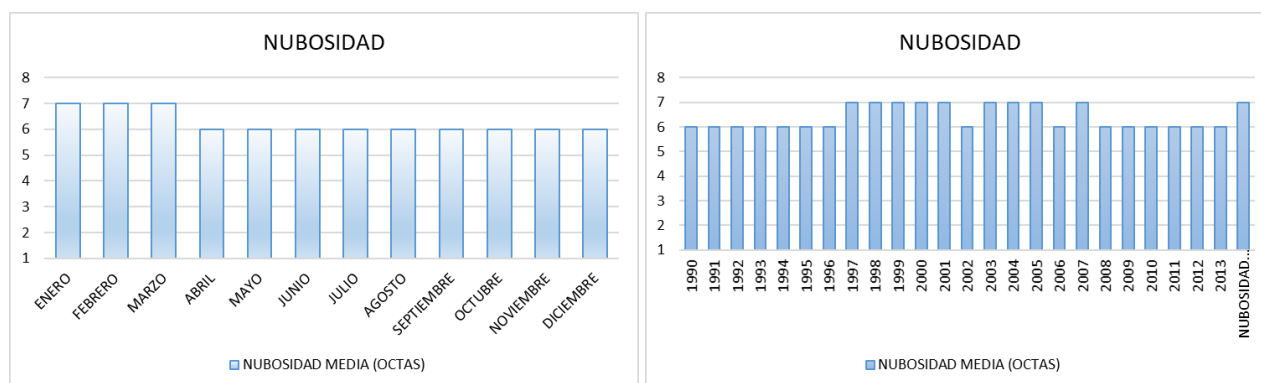
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Heliofanía Mensual (Horas)	12	88	155	1990-2013	INAMHI
Heliofanía Anua (Horas)	849	1060	1254	1990-2013	INAMHI

Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.8 Nubosidad

Se define a la nubosidad como la fracción de la bóveda terrestre cubierta por la totalidad de nubes visibles, se divide a la bóveda celeste en octavos llamados “octas”. Este parámetro lo estima el observador por observación directa y no utiliza aparatos para su estimación. (INAMHI)

La nubosidad en la estación Puyo durante el periodo 1990-2013, presenta un valor medio mensual de 6 octas, registrándose los valores más altos en enero, febrero y marzo.

Figura 7-13 Nubosidad en la Estación Puyo


Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

A continuación, se presenta un resumen de los valores antes mencionados.

Tabla 7-7 Resumen de Nubosidad en la Estación Puyo

Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro	Fuente
Nubosidad Mensual (Octas)	5	6	7	1990-2013	INAMHI

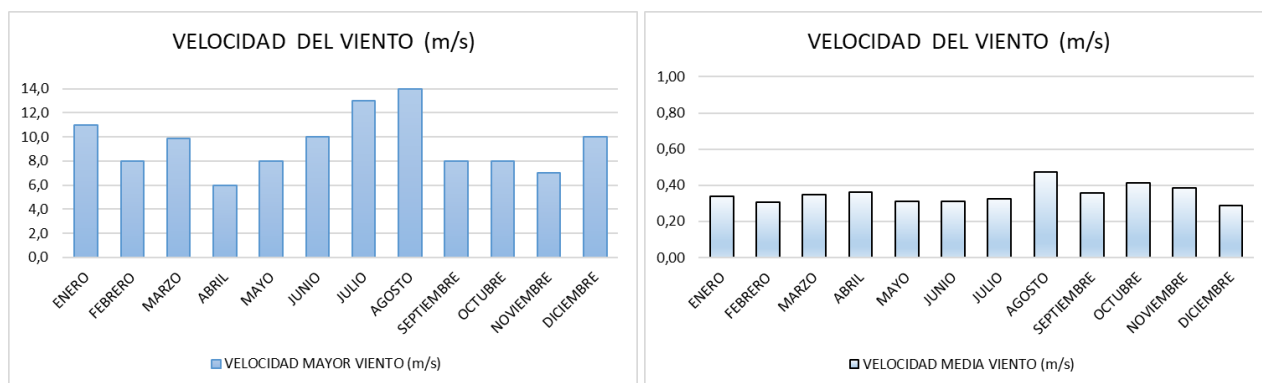
Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.1.9 Dirección y Velocidad del Viento

El viento se define como el movimiento del aire con respecto a la superficie de la tierra. Las direcciones se toman de donde viene o procede el viento. (INAMHI)

La velocidad del viento en la estación Puyo durante el periodo 1990-2013, presenta un valor máximo de 14 m/s registrado en el mes de agosto, y un valor medio de 0,35 m/s, como se aprecia en las siguientes figuras.

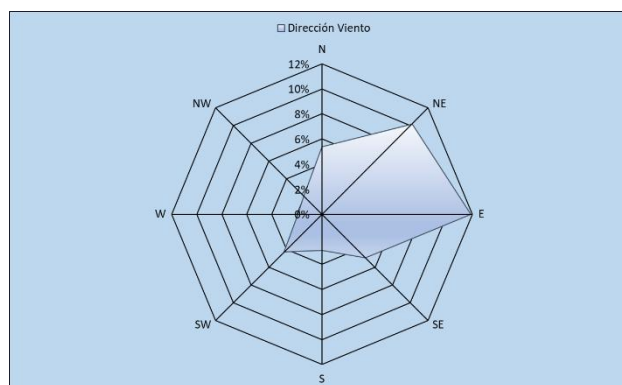
Figura 7-14 Velocidad del Viento en la Estación Puyo



Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Los vientos predominantes se aprecian desde del Este y Noreste, lo que indica una dirección del viento hacia el Oeste y Suroeste.

Figura 7-15 Dirección del Viento en la Estación Puyo



Origen Viento	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA
Porcentaje (%)	5	10	12	5	3	4	2	2	56

Fuente: INAMHI, 1990-2013 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Se debe indicar que la velocidad media del viento es de 1,26 km/h (0,35 m/s), lo cual indica una condición de “calma” según la escala de intensidad del viento de Beaufort, lo que implica que el humo asciende verticalmente. Además, se aprecia que existe un 56% de calma.

7.1.2 GEOLOGÍA Y SISMICIDAD

7.1.2.1 Metodología

La geología del área del proyecto se analizó a través del Mapa Geológico de la República del Ecuador, escala 1: 1 000 000, año 2017, información publicada por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM), ahora conocido como IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético), además se realizó la descripción geológica de la zona de estudio siguiendo los formatos estandarizados del IIGE.

La caracterización del componente geológico regional y local se realizó mediante la revisión de información bibliográfica secundaria, entre la cual se puede mencionar la siguiente:

Tabla 7-8 Fuentes principales de consulta

Institución	Insumo	Escala	Fecha
IIGE	Mapa geológico de la República del Ecuador	1:1000000	2017
IIGE	Hoja Geológica Puerto Napo	1:100000	2012

Fuente: IIGE, 2017-2012 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De forma complementaria, para el análisis estructural, litoestratigráfico, magmático, geomorfológico y sísmico se utilizó la siguiente información bibliográfica,

- Baby & Rivadeneira, “La Cuenca Oriente, Geología y Petróleo”, 2004.
- Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, 2014.
- Mapa Geomorfológico a escala 1:25000, MAGAP – SIGTIERRAS, 2017.
- Eventos sísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), 1900-2016
- Mapas de amenazas, vulnerabilidad y capacidades en el Ecuador - Demoraes y D’Ercolet, 2001

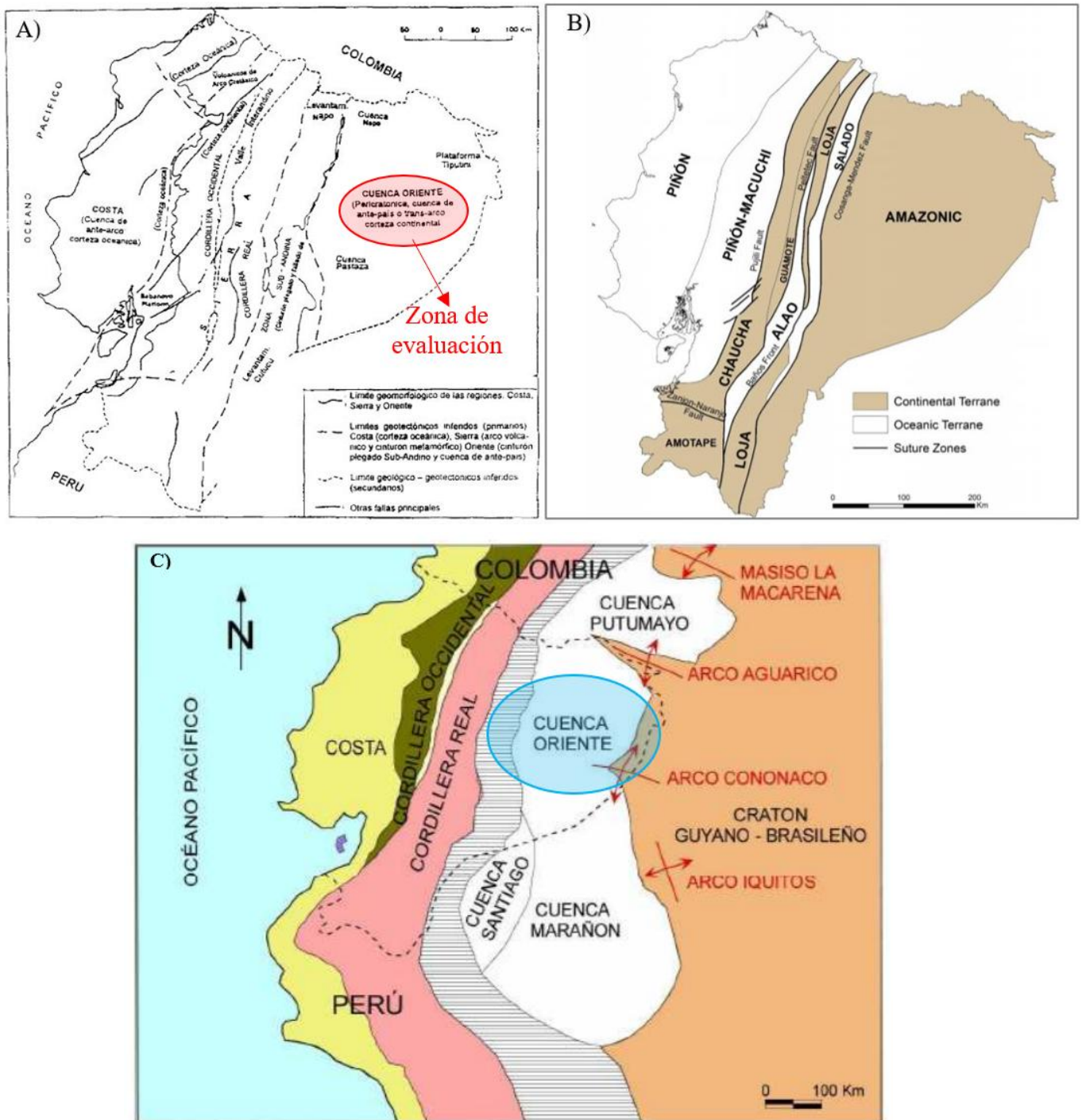
Toda la información bibliográfica recopilada fue correlacionada con la información levantada en campo a través de los recorridos realizados en el área donde se implantará el proyecto.

7.1.2.2 Geología regional

La geología del Ecuador, así como los procesos físicos están influidos por los mecanismos tectónicos responsables del desarrollo de las montañas andinas. Tanto la geología como los procesos físicos activos (deslizamientos, volcanismo, erosión, meteorización) son complejos y variados. El Ecuador se encuentra localizado en el margen activo del continente Sudamericano, donde se subduce la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Los Andes han creado tres zonas geológicas y geomorfológicas bien definidas: (1) las planicies costeras (Costa) al oeste, (2) el área central montañosa o Andes (Sierra) y **(3) las zonas bajas del este (Oriente)**, tal y como se indica en las siguientes figuras.

Figura 7-16 A) Esquema geológico - geomorfológico del Ecuador, B) Mayores terrenos Geotectónicos, C) Ubicación Cuenca oriente



Fuente: A: Baldock, 1982; B: Litherland, 1994

Acorde con ilustración anterior, se indica que la zona de evaluación, es decir, donde se localiza el proyecto minero, corresponde a las zonas bajas del este (Cuenca Oriente), y es sobre la cual se expondrá como análisis de geología regional a continuación.

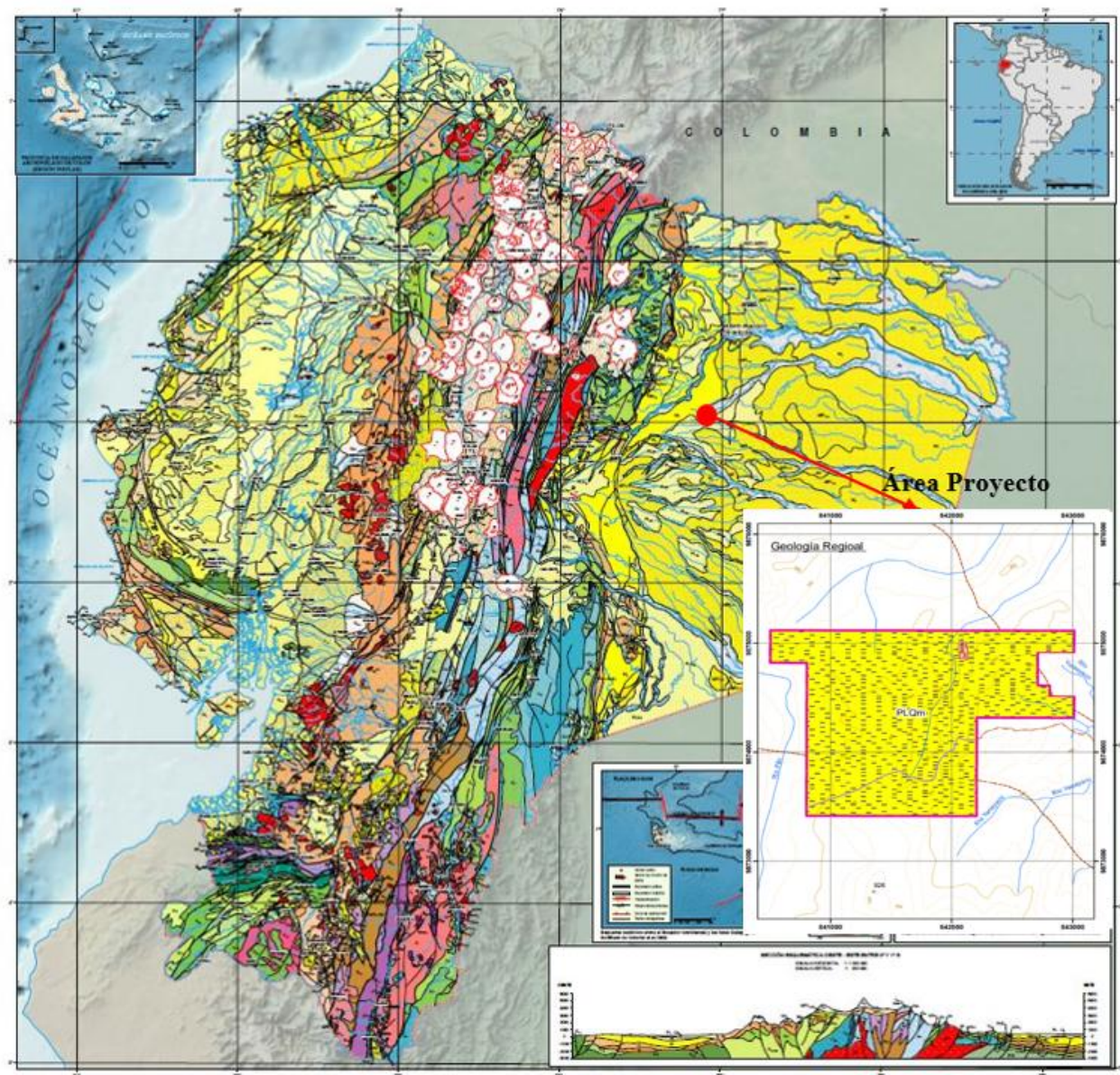
Cuenca Oriente

La cuenca Oriente ecuatoriana representa una de las cuencas subandinas más complejas y más atractivas desde el punto de vista científico y económico. La alta densidad de información de subsuelo de la cuenca oriente, han permitido precisar su marco estructural y su evolución geodinámica. La morfología de la cuenca

se identifica por contar con relieves relativamente importantes, como son los relieves subandinos del Levantamiento Napo y de la Cordillera de Cutucú (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

En la siguiente ilustración se presenta la ubicación referencial del proyecto acorde al Mapa geológico de la República del Ecuador del año 2017, escala 1:1000000. Para un mayor detalle de la información se puede consultar el mapa temático respectivo (Anexo B. Mapa 7.4).

Figura 7-17 Geología regional del proyecto



Fuente: IIGE, 2017 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Continuando con la descripción de la Cuenca Oriente, esta se encuentra en una posición de ante-país de transarco de los Andes ecuatorianos. Se ubica en una zona estructuralmente muy compleja, justo al norte de la charnela entre los Andes centrales y los Andes septentrionales (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004), tal y como se representa en la siguiente ilustración.

Figura 7-18 Ubicación de la Cuenca Oriente en los Andes centrales y septentrionales



Fuente: (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Esta posición particular hace que esta región está sometida a cambios de esfuerzos importantes y, por lo tanto, puede ser responsable de la fuerte actividad sísmica y volcánica que la caracteriza. La geodinámica de los Andes centrales y septentrionales está directamente ligada a la subducción de la placa oceánica nazca por debajo del continente sudamericano. Al frente de la costa ecuatoriana, la estructura de la placa nazca está caracterizada por la presencia de la dorsal asísmica de carnegie, que se encuentra al momento en proceso de subducción por debajo de los Andes ecuatorianos. La subducción de la dorsal de carnegie ha generado en la última década bastante polémica (Gutscher et al., 1999; Guillier et al., 2001; Bourdon et al., 2003).

7.1.2.3 Geología local

Las áreas de concesión están ubicadas justo en los flancos SE de la estructura denominada “Del Napo”, que es una estructura anticlinal ubicada al noreste de Ecuador. Este anticlinal está compuesto por un conjunto de formaciones sedimentarias de edades comprendidas entre el Cretácico y el Mioceno-Plioceno que también están cubiertas por otras formaciones sedimentarias recientes.

Durante las tareas de prospección, se identificaron las siguientes formaciones en las áreas de concesión:

FORMACIÓN NAPO (Cretácico)

Los afloramientos más conspicuos de esta formación se encuentran cerca de Puerto Napo. Otros afloramientos importantes se encuentran en la carretera Puerto Napo - Misahualli. En este sector, una cantera de mármol gris y negro está siendo explotada por una empresa local.

Tschopp, H. (1945) ha dividido la Formación Napo en tres unidades: (1) unidad Inferior (Albiano-Cenomaniano): Está compuesta por una sucesión de capas intercaladas de arenisca, lutita y caliza. La arenisca es de composición glauconítica (origen marino), color verde y tamaño de grano fino a medio. La lutita es rica en materia orgánica fisionable, gris oscura-negra y calcárea. La piedra caliza es de color gris oscuro con textura bioclástica. (2) unidad Media (Turoniano): Está compuesta por calizas macizas de color gris claro con fósiles, formando bancos de 3 metros de espesor, intercalados con finas capas de lutitas y lentes de pedernal negro de hasta 15 cm de espesor. (3) unidad Superior (Coniaciano): Está compuesta de lutitas bituminosas de color verde-negro intercaladas con capas de calizas fosilíferas de color gris oscuro. Estas rocas están falladas, erosionadas, fracturadas y alteradas.

FORMACIÓN DE TENA (Cretácico-Paleoceno)

Buenos afloramientos de esta formación están ocurriendo cerca de la ciudad de Tena y en el curso superior del río Tuyano (COORDEN UTM 17S: 873915.197E, 9887175.46N). Está representado por capas de arenisca calcárea conglomeradas de tamaño de grano grueso de color verde grisáceo, con estratos cruzados en la base. Capas de centímetros de arcilla marrón-rojo-violeta-violeta y verde. En la parte superior se han observado algunos conglomerados de guijarros de cuarzo. El origen de esta formación se debe en parte al ambiente de regresión marina y en parte al ambiente continental. Por lo tanto, los ambientes de agua dulce y salada estaban relacionados. Las muestras de esta formación arrojaron algunas partículas finas de oro (INEMIN, 1982).

FORMACIÓN TIYUYACU (Eoceno)

La formación Tiyuyacu, es una de las formaciones auríferas más importantes de la secuencia sedimentaria. Representa el cimienta en una gran área de las concesiones. Se han observado finos colores 1 y 2 en su masa. Se han registrado afloramientos claros en la Carretera Puerto Napo - Santa Clara. También se han estudiado grandes exposiciones de esta formación en la concesión Malecón 4 (Sector Apuya y Sector Sindy). Algunos afloramientos se encuentran a lo largo del lado sur de la carretera Puerto Napo - Yuralpa. Además, se han visto buenos afloramientos conspicuos alrededor de la ciudad de Misahuallí.

Esta formación está compuesta por horizontes conglomerados (hasta 6 m de espesor) intercalados con capas de arena. El conglomerado está compuesto por guijarros bien redondeados y bien clasificados (y algunos guijarros) de cuarzo mesotérmico de veta blanca masiva, cuarzo microcristalino, cherts y esquisto de mica gris de grano fino en la base en una matriz de arena de cuarzo fina soldada. Las capas de arena pueden describirse como lechos pobremente litificados de arenas cuarcíticas gruesas de color marrón púrpura.

El origen de la Formación Tiyuyacu es la erosión de la Cordillera Real en el oeste. El patrón de sedimentación indica una deposición de energía hidráulica de media a fuerte en un ambiente fluvio-lacustre (molásico-continental).

La formación Tiyuyacu cubre un área de aproximadamente 30 Km² dentro de las concesiones y una cantidad similar fuera de ellas. Inemin, 1982, reporta para esta formación un espesor total de 250 m. Por lo tanto, el volumen potencial total es de 15.000 millones de m³ de conglomerados auríferos y grava bien compactada.

FORMACIÓN CHALCANA (Oligoceno-Mioceno)

Los principales afloramientos de esta formación están expuestos en los cursos medio y bajo del Río Tuyano. La formación Chalcana, está descendiendo 170° hacia el SE (flanco sureste del anticlinal).

La formación Chalcana, comprende arenisca fina y lutita marrón-rojo-violeta y gris bien compactada. En el río Tuyano se ha observado un horizonte de banco de 2 metros de pedernal marrón rojizo intercalado con la arenisca. Según INEMIN (1982), la formación Chalcana, está compuesta por capas de varios metros que alcanzan un espesor total de aproximadamente 800 m. Algunos fósiles revelan un borde del Oligoceno superior-Mioceno inferior para esta formación. El origen de los sedimentos es continental. El color rojo se debe a las características del suelo laterítico de las zonas tropicales.

La formación Chalcana, está superpuesta transitoriamente a la formación Tiyuyacu. Se puede observar una clara exposición de esta conformidad (contacto) en la vía Puerto Napo - C.J. Arosemena. Además, Chalcana está subyacente transitoriamente conglomerados y areniscas de la formación Arajuno. La formación Chalcana, podría ser el equivalente a un ambiente de deposición de agua poco profunda de la formación Ortegua en Colombia que tiene sedimentos de aguas profundas (Bristow y Hoffsteter, 1977). Se han observado algunos colores finos de Au para esta formación geológica.

FORMACIÓN ARAJUNO (Mioceno)

La Formación Arajuno está muy extendida en las concesiones. Está cubriendo una gran superficie en la parte este de las mismas. Los afloramientos comienzan en Misahualli y continúan hacia el este.

Se pueden observar afloramientos muy claros de esta formación en casi todas partes aguas abajo del cruce de los ríos Pusuno y Napo (879567.40E, 9886214.21N). Los afloramientos clásicos se encuentran en Río Arajuno de donde toma su nombre. Tschopp, H. (1945) dividió esta formación en tres unidades.

(1) Miembro inferior: Constituido por un conglomerado basal compuesto principalmente por guijarros redondeados de cuarzo en una matriz de arena fina cuarcítica teñida con óxido de hierro. (2) Miembro Medio: Constituido por lutitas y arenisca con mica de tamaño de grano fino marrón-rojo-violeta, macizo, bien compactado. (3) Miembro superior: Compuesto por arenisca de fina a media gris y marrón rojiza moderadamente compactada con presencia ocasional de lignito. El color rojo podría estar relacionado con procesos lateríticos característicos del clima tropical. Grandes afloramientos de esta unidad están ocurriendo a lo largo de la vía TenaPuyo (sector Santa Clara). El paquete sedimentario completo tiene un espesor de 800-1000 my se inclina 20° hacia el SO (promedio).

La formación Arajuno se superpone transicionalmente a la Chalcana. Al oeste, por el río Jantunyacu, el conglomerado y arenisca del miembro inferior de la Formación Arajuno, está subyacente transicionalmente a la formación Chambira, una buena exposición es en el río Yuracyacu en las coordenadas (844926.89E, 9873977.06N).

La formación Arajuno, es el lecho rocoso extendido en la sección media y baja del Río Napo. La arenisca del Mioceno de la formación Arajuno, está formando grandes escarpes y acantilados en el Sector Río Bueno y a lo largo del Río Napo. Esta formación contiene horizontes conglomerados de guijarros de cuarzo de 1 - 2 m de espesor. De esas capas se recogió un canal vertical obteniendo finas partículas de oro aplanadas con un rendimiento de 60 mg / m³.

LA FORMACIÓN CHAMBIRA (Mioceno - Plioceno)

Esta formación aún no se ha observado en las áreas de concesión. Sin embargo, se menciona por su importancia aguas arriba del río Napo. Un gran afloramiento de la Formación Chambira se encuentra a 1.5 Km al sur del pueblo de Serena en las coordenadas (843185.91E, 9878531.39N). Este afloramiento se

extiende hacia el este y el oeste a lo largo del escarpe morfológico producido por una falla regional O - E (río Jatunyacu). Una discordancia angular muy agradable, entre las formaciones Chambira y Mera, se ha encontrado en las coordenadas (842723.81E, 9872681.45N) en una colina más alta a 940 m.s.n.m. Otros afloramientos de esta formación se encuentran a lo largo y alrededor de la sección superior del río Yuracyacu.

La formación Chambira, es una de las fuentes de las partículas de oro observadas en la Formación Mera y en el sistema aluvial del Río Napo. El oro que se encuentra en Chambira es de color amarillo claro, plano y fino (tamaños de partículas de Au de hasta 1 mm). Esta formación está compuesta por sedimentos fluviales depositados durante la fuerte erosión de la Cordillera Real (al oeste) relacionada con el Levantamiento Tectónico del Plioceno Andino. Su espesor oscila entre los 1000 y los 1500 m (INEMIN, 1982). La formación Chambira, está compuesta básicamente por un conglomerado de guijarros, cantos rodados y pequeños cantos rodados (hasta 40 cm) en el siguiente porcentaje promedio: 10% volcánico, 43% cuarcita, 1% esquistos, 3% metasedimentos y 43% cuarzo. La matriz es de arena blanca de cuarzos de espesor fino a medio y arcilla beige. Algunas capas de arcilla gris azulada y violeta y de arena fina de 1 a 2 m de espesor se intercalan en el conglomerado.

FORMACIÓN MERA (Pleistoceno)

La Formación Mera básicamente cubre las otras formaciones más antiguas. Algunas exposiciones como remanentes están aflorando en las colinas. Es muy común ver la grava reelaborada de la formación Mera como parte de la grava aluvial reciente de la hidrografía moderna.

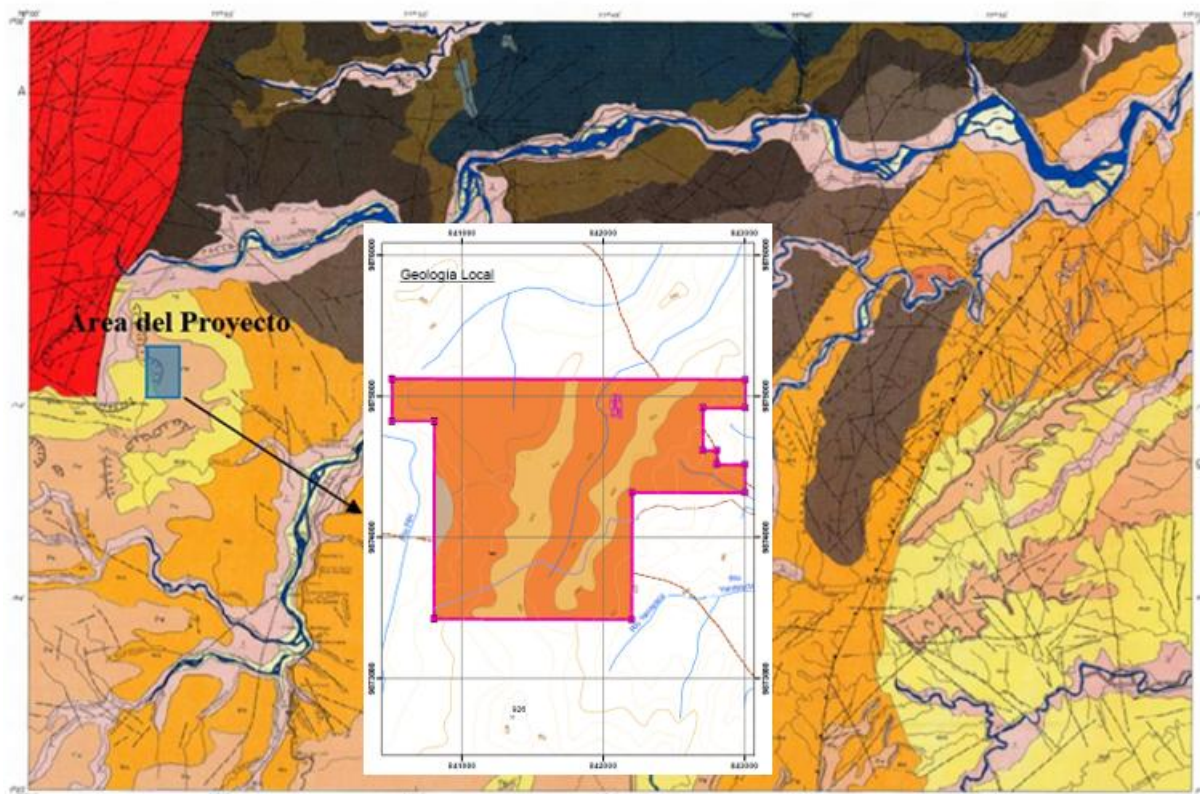
Básicamente la formación Mera, comprende la grava aluvial bien compactada de antiguos ríos o paleocanales compuestos por cantos rodados redondeados y subangulares (hasta 6 m de diámetro) de granito, granodiorita y rocas volcánicas silicificadas que representan el 20% del volumen total. El otro 80% está representado por cantos rodados y subangulares y cantos rodados de rocas volcánicas porfídicas y silicificadas (44%), cuarzo (16%), cuarcita (13%), granito (5%), granodiorita (1%), metasedimentos (16%), esquisto (3%) y diorita (2%) que se encuentran contenidos en una matriz compuesta de arena arkósica muy gruesa a media con una matriz compuesta de arena teñida con óxido de hierro rojo-marrón-beige, con algo de arcilla.

La formación Mera, tiene un enriquecimiento de oro secundario debido a la reelaboración de las formaciones Tiyuyacu y Chambira (auríferas). El mayor espesor de las cuencas) y el menor espesor o ninguno se ha registrado en la cima de los cerros.

En el Sector Sardinas ubicado al sur del río Jatunyacu (853338.19E, 9878460.99N), los lugareños han encontrado pepitas esféricas y planas de hasta 10 gramos en la grava (paleocanales) de la Formación Mera. Varias empresas nacionales y extranjeras han explotado el oro bruto de Sardinas durante las últimas décadas.

De forma complementaria al análisis geológico de campo previamente descrito, se ha utilizado como insumo base la **hoja geológica de Puerto Napo**, escala 1:100000, para contrastar la información descrita, la cual se representa en la siguiente ilustración. Para un mayor detalle de la información se puede consultar el mapa temático respectivo (Anexo B. Mapa 7.4).

Figura 7-19 Geología local del proyecto



Fuente: IIGE, 2012 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Acorde con la hoja geológica de Puerto Napo, se puede indicar que el proyecto interseca con Formación Chambira (Mch), Formación Arajuno (Ma) y Formación Mera (PM).

La Formación Mera se caracteriza por la presencia de conglomerados y areniscas, por otro lado, la Formación Chambira por la presencia de arenisca tobácea, arenisca conglomerática y conglomerados, mientras que la Formación Arajuno se caracteriza por la presencia de áreas y areniscas con tamaño de grano variable.

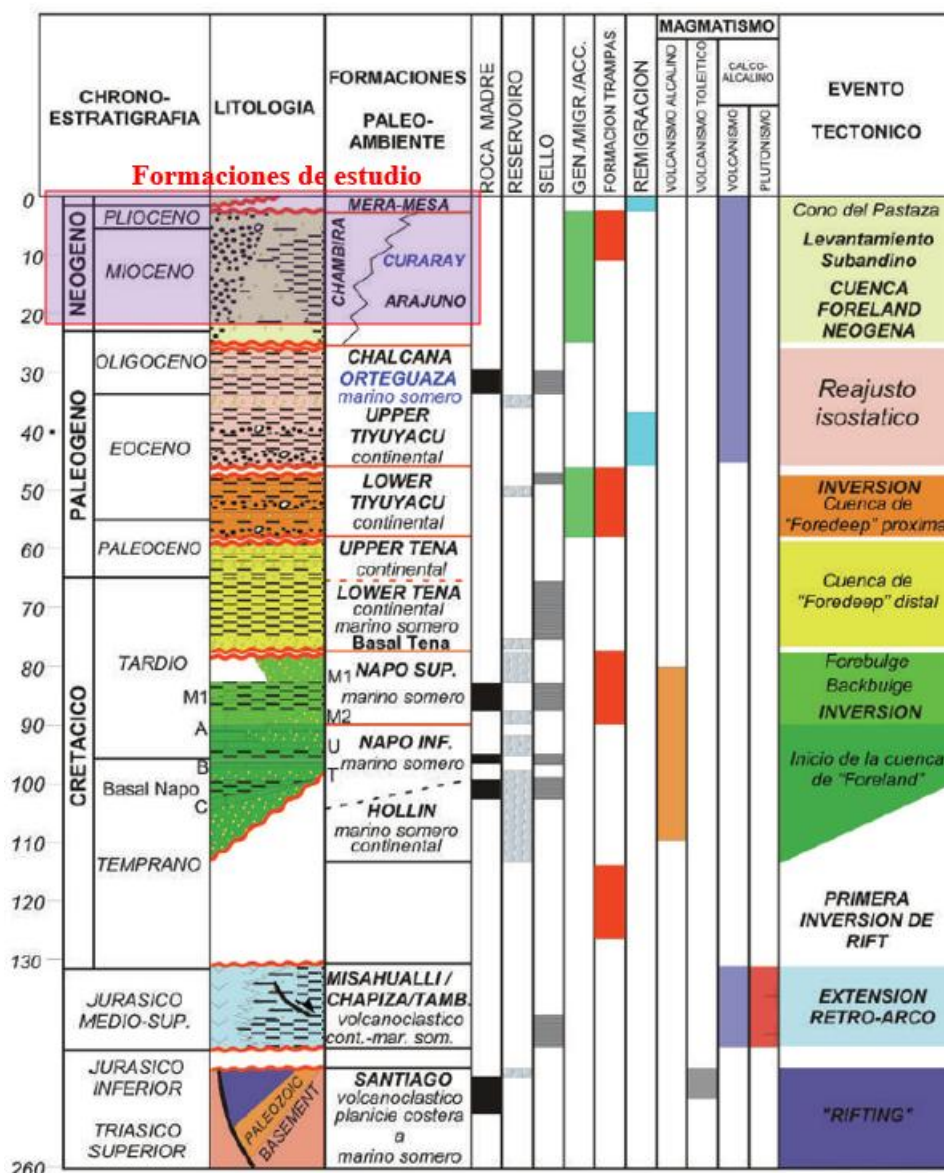
Estas Formaciones previamente descritas, serán complementadas en la **sección 7.1.2.4 Litoestratigrafía**.

7.1.2.4 Litoestratigrafía

La columna litoestratigráfica a describir resume la estratigrafía y los eventos geodinámicos más importantes que controlaron el desarrollo de la Cuenca Oriente. La columna estratigráfica de esta parte de la región oriental ecuatoriana está constituida por unidades que van desde el Jurásico Superior al reciente. Se encuentran rocas intrusivas del Jurásico, roca volcánicas de la Formación Misahuallí del Jurásico Superior, rocas sedimentarias que datan del Cretácico hasta el Reciente y finalmente ceniza y flujos de lodo volcánicos.

Para describir las unidades y formaciones presentes en la zona del proyecto, se presenta a continuación la columna estratigráfica tipo de la Cuenca Oriente.

Figura 7-20 Columna estratigráfica de la Cuenca Oriente



Fuente: (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Notar que en la ilustración anterior, se ha enmarcado con borde rojo las formaciones que intersecan con el proyecto (Formación Arajuno, Chambira y Mera) y sobre las cuales se presentará una descripción a continuación (Ver Anexo B. Mapa 7.4).

7.1.2.4.1 Formación Arajuno (MA)

La formación Arajuno aflora principalmente a orillas del Río Napo y del Río Arajuno. Se han encontrado también buenos afloramientos en la carretera Puyo-Tena y Puerto Napo-Santa Rosa. Esta formación está constituida principalmente por areniscas finas a gruesas, conglomerados intercalados con limolitas y arcillolitas rojizas. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

En los conglomerados sólo se han encontrado facies correspondientes a procesos de transporte de sedimentos por tracción (Gh, Gp, Gs y Gt). En las limolitas y las arcillolitas, se identificaron facies Fl, Fsm y P. Estas litofacies pueden ser agrupadas en elementos arquitectónicos de tipo LA, DA o FF. La coexistencia de elementos LA y DA demuestra que el estilo fluvial de la formación Arajuno correspondía a un sistema de tipo divagante de baja sinuosidad con carga sedimentaria gruesa, donde se han encontrado conglomerados gravel

wandering, y a meandros con carga arenosa de baja sinuosidad sandy meandering donde la granulometría es menor. El estudio de las paleocorrientes muestra dos direcciones principales de drenaje O-E y N-S, pero se puede notar que posiblemente el eje del drenaje longitudinal se desplazó hacia el este. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

La Arajuno es una potente secuencia con variación litológica y ha sido dividida en tres unidades:

- Una arenisca inferior con conglomerado e intercalaciones de arcillolitas bentoníticas;
- Una unidad intermedia de arcillas rojizas, yesíferas en la base y tobáceas en la parte superior, y
- Una subdivisión superior de areniscas con lignitos.

7.1.2.4.2 Formación Chambira

Aflora esencialmente en la Depresión Pastaza, a lo largo del río Napo, y en el sinclinal de Talag al oeste de Tena. La mayor parte de la formación está formada de conglomerados con una mayoría de clastos de cuarzo lechoso con matriz arcillo-arenosa cuarzosa, areniscas de grano medio a muy grueso con intercalaciones de lutitas; areniscas tobáceas y conglomerados interestratificados; conglomerados. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

Se identifican tres miembros para esta formación:

- Miembro Inferior: Se encuentra compuesto por areniscas de grano muy grueso a medio de color gris, estratificación entrecruzada, conglomerática, con mantos de lignito con guijarros argilíticos; arcilla abigarradas gris azuladas, ricas en materia orgánica; intercalaciones de lutitas verde-azuladas con restos vegetales, micáceas y arenosas.
- Miembro Medio: Contiene areniscas cuarcíticas de color gris, tobáceas, mal seleccionadas, con minerales ferrosos; conglomerados y micro conglomerados de cuarzo y pedernal; arcillas bentónicas con impresiones de hojas; arcilolitas limosas abigarradas, cuarzosas, micáceas, grafiticas, con magnetita.
- Miembro Superior: Compuesto por areniscas de color gris, mal seleccionadas con lentes de arcillas abigarradas y lignito. Conglomerados de guijarros de roas ígneas de 2 a 20 cm de diámetro en unos casos y por guijarros de cuarzo y pedernal mal seleccionados con lentes arenosos en otros casos, con restos de vegetales y troncos de árboles silicificados y lignitosos.

Esta formación descansa concordantemente sobre la Formación Arajuno. El espesor es de aproximadamente 1100 metros y por su posición estratigráfica su edad va desde el Mioceno al Plioceno.

7.1.2.4.3 Formación Mera

La Formación Mera aflora principalmente en los márgenes del Río Pastaza, donde forma las paredes de sus terrazas aluviales holocenas. Constituye un abanico de piedemonte cuyo apex se ubica a algunos kilómetros aguas arriba de Shell. El abanico actual del Pastaza, se superpone en parte al abanico de la Formación Mera. Los mejores afloramientos conocidos de la Formación Mera se ubican en la depresión de Santa Inés y al nivel de Shell y Mera. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

La formación está conformada por depósitos gruesos, esencialmente constituidos de material volcánico (clastos y matriz arenosa a conglomerática) y en menor proporción de clastos de granito o de rocas metamórficas. Esos componentes constituyen a veces lentes, donde están representados la mayoría de los clastos. La granulometría de los depósitos es muy gruesa y sus elementos alcanzan a veces más de 1 m de diámetro. Son terrazas más jóvenes (topográficamente inferiores) depósitos compuestos por abanicos de piedemonte del Cuaternario areniscas tobáceas y arcillas. Hacia el este los sedimentos de las terrazas disminuyen en espesor, tamaño del grano y altitud. (Reatiqui, 2015)

Las litofacies encontradas son de tipo Gp, Gt, Gmm et Gmt y también Sp y Sh, dispuestas en lentes, en los conglomerados. Estas facies pueden ser agrupadas en elementos arquitectónicos de tipo GB (Gp y Gt), SG (Omm, Gmt) y SB (Sp, Sh). Esta asociación de barras de gravas (GB) y flujos de bloques (con poco lodo en ese caso) es típica de ríos entrenzados con doble régimen hidráulico, ubicados en la cabecera del abanico aluvial, donde se producen frecuentes debris flows. En ese caso, los elementos SB preservados, pueden ser interpretados como dunas de arenas depositadas durante el descenso del agua luego de una crecida. Ese estilo fluvial, es muy parecido al drenaje observado actualmente en el Río Pastaza.

Los datos de paleocorrientes indican una corriente principal O-E, separándose en corrientes SO-NE y NO-SE hacia el este.

7.1.2.5 Geología estructural

La Cuenca Oriente se desarrolla como resultado de esfuerzos transpresivos presentes a partir del cretácico terminal, los que provocan la emersión de la cordillera real y la formación de la cuenca de ante-país de transarco propiamente dicha. Su deformación resulta de la inversión tectónica de antiguas fallas normales ligadas a un sistema de rift de edad triásico y/o jurásico inferior. Estas fallas, actualmente inversas y de fuerte buzamiento, están orientadas principalmente N-S o NNE-SSO, y limitan tres corredores estructurales-petrolíferos con características propias como son: el Sistema Subandino (Play occidental), el corredor Sacha-Shushufindi (Play central), y el Sistema Capirón-Tiputini (Play oriental).

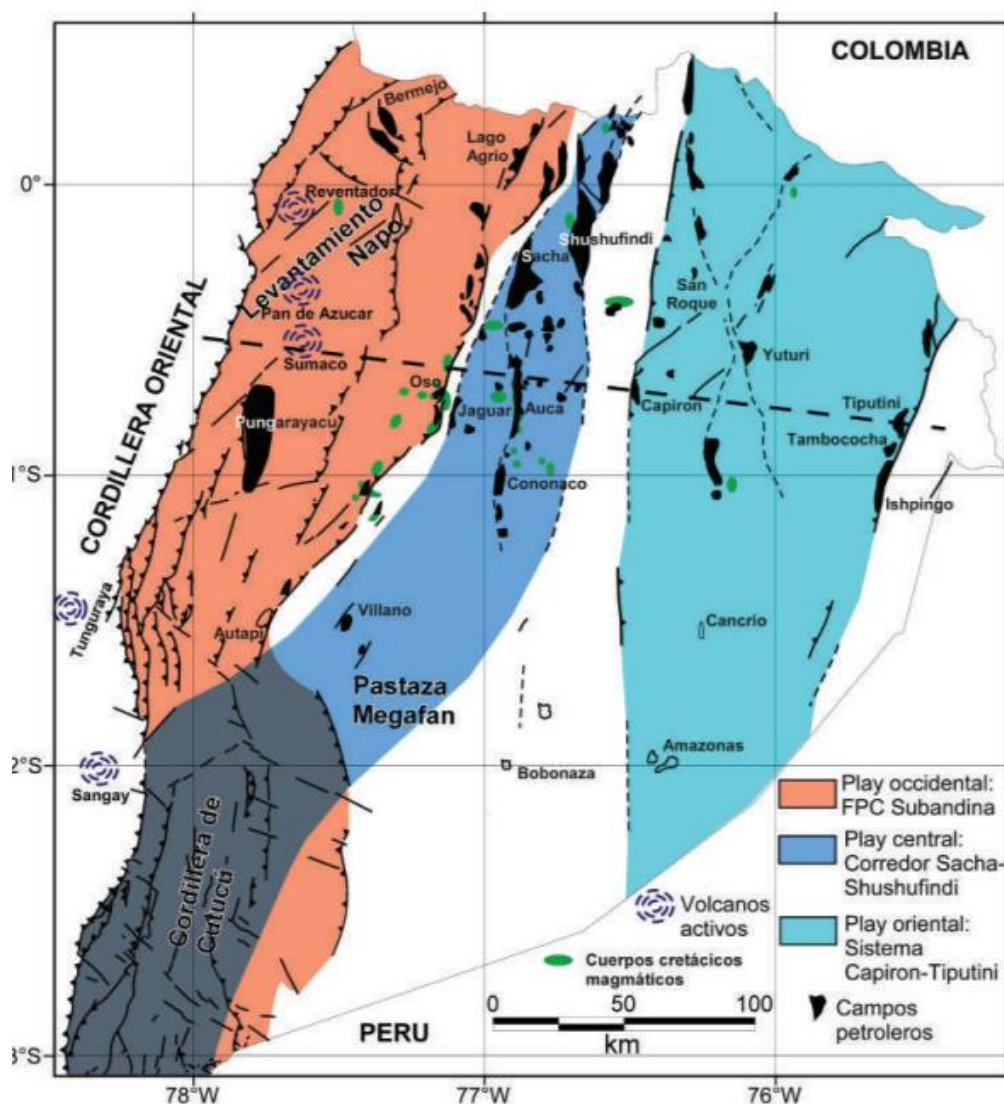
Los estudios realizados dentro del Convenio PETROPRODUCCIÓN-IRD, ponen en evidencia **tres dominios** tectónicos en la Cuenca Oriente (ver figura adjunta). Este modelo estructural presenta sus propias características geométricas y cinemáticas relacionadas a una herencia precretácica propia (Baby et al., 1999).

(1) El Dominio Occidental o Sistema Subandino, muestra de norte a sur tres zonas morfo-estructurales bien definidas: el Levantamiento Napo, que corresponde a un inmenso domo alargado, de orientación NNE-SSO, limitado al este y al oeste por fallas transpresivas; la Depresión Pastaza, donde las fallas se vuelven más cabalgantes al contacto zona Subandina-Cordillera Oriental y la Cordillera de Cutucú, la cual se caracteriza por un cambio de orientación de las estructuras, de N-S a NNO-SSE, y la aparición de formaciones triásicas y jurásicas (Fm. Santiago y Chapiza) y en menor proporción paleozoicas (Fm. Pumbuiza y Macuma), según Baby et al. (1999).

(2) El Dominio Central o Corredor Sacha-Shushufindi, abarca los campos más importantes de la Cuenca Oriente (Sacha, Shushufindi, Libertador). Está deformado por mega fallas en transpresión, orientadas en sentido NNE-SSO, que se verticalizan en profundidad y pueden evolucionar a estructuras en flor hacia la superficie (Baby et al., 1999).

(3) El Dominio Oriental o Sistema Capirón-Tiputini, corresponde a una cuenca extensiva, actualmente invertida, estructurada por fallas lítricas que se conectan sobre un nivel de despegue horizontal (Balkwill et al., 1995; Baby et al., 1999).

Figura 7-21 Sección Estructural Cuenca Oriente con sus tres corredores estructurales



Fuente: (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.2.6 Geología económica

La extracción de oro aluvial tiene una extensa historia en el área que se remonta al período inca. El oro grueso en las gravas del río Sardinas fue descrito en la época colonial (1668) por los conquistadores españoles. En 1754, los españoles informaron depósitos de oro de placer en las cuencas de los ríos Jatunyacu y Anzu. Cuando Ecuador se convirtió en República, la primera concesión formal de esta área se le dio a Mariano Cruz en 1846.

A principios del Siglo XX, se informó que varias compañías mineras exploraron las cuencas de los ríos Jatunyacu y Anzu. Los lugareños informan que una de estas compañías norteamericanas trabajó en la década de 1930 hasta la década de 1940 dejando atrás equipos pesados viejos. No hay registros formales de estas actividades. Durante las últimas dos décadas, dos compañías mineras, Anzuyacu Mining SCC (Anzuyacu) y Odin Mining, y Exploration Ltd (Odin) tenía permisos de exploración en el área general de confluencia entre los ríos Jatunyacu y Anzu y realizó un programa de perforación limitado en el área. Bolaños (1998) sugiere que no entendieron la génesis, la estructura geológica y tectónica de los depósitos aluviales y los canales paleo lo suficientemente bien como para hacer correlaciones adecuadas para estimar el contenido real de

oro en estos depósitos sedimentarios. Sin embargo, dejaron registros de perforación con estimaciones de grado de oro y el escritor los revisó en la evaluación general de la propiedad.

En base a los reportes de público acceso presentados por la compañía Hampton Courtresources Ecuador y Odin Exploration, se puede estimar el trabajo efectivo de producción en gravas aluviales con un volumen estimado de 6.000.000 de metros cúbicos de grava útil mineralizada, con una ley estimada de 250 miligramos por metro cúbico.

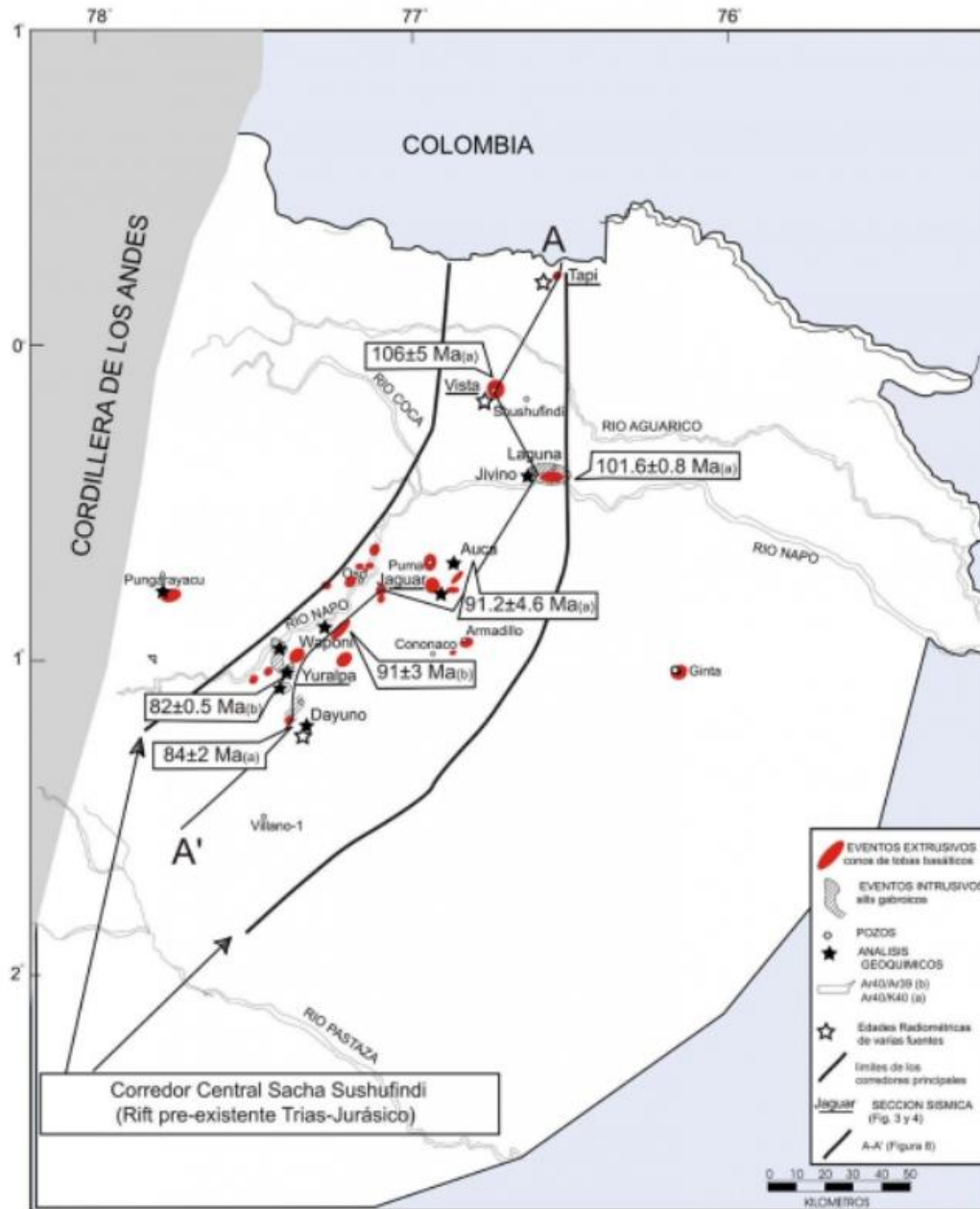
7.1.2.7 Magmatismo

La **Cuenca Oriente** de Ecuador, localizada al este de la cordillera andina actual, proporciona nuevas evidencias de un magmatismo continental alcalino-basáltico intra-placa, asociado con la evolución del margen noroccidental de la placa continental sudamericana durante el cretácico. El mismo se desarrolla sobre una sección sedimentaria Fanerozoica durante condiciones marino someras estables que correspondían a la depositación de las Fms. cretácicas Hollín y Napo (Barragán et al., en este libro). La distribución geográfica de estos eventos ígneos alcalinos se confina en gran parte a las estructuras pre-extensivas invertidas durante el cretácico, alineadas a lo largo del corredor sacha-sushufindi en una dirección NNE-SSO en la parte central de la Cuenca (Baby & Barragán, 2004).

La distribución regional de los cuerpos extrusivos e intrusivos cretácicos reconocidos dentro del ciclo sedimentario Hollín-Napo de la cuenca oriente se resume en la siguiente figura. Aunque el volumen de volcanismo generado es relativamente pequeño, el OBB es un evento regional alineado y desarrollado a lo largo de una zona orientada NNE compuesta de por al menos 40 centros eruptivos aislados. Los mismos están caracterizados por depósitos hyaloclastíticos, diques basálticos y cuerpos intrusivos someros gabróticos (sills), el más grande de estos con un espesor de 150 a 200 m, cubriendo un área de 20 km² (áreas Yuralpa-Dayuno) (Baby & Barragán, 2004).

Las facies extrusivas están caracterizadas predominantemente por conos de tobas y maars formando centros volcánicos monogenéticos, definidos en varias secciones sísmicas y confirmados a través de varios núcleos de perforación y del análisis de registros eléctricos de pozos que atraviesan los mencionados cuerpos ígneos, además de la descripción de afloramientos especialmente en la zona subandina. Los componentes volcanoclastíticos identificados en estas sucesiones volcánicas, consisten principalmente en capas finas de tobas basálticas estratificadas, ceniza fina, fragmentos de lapilli, vidrio basáltico y minerales máficos. Es muy común la presencia de lapilli acrecional y sideromelano que evidencia condiciones depositacionales húmedas y un enfriamiento rápido. La mayoría de los productos volcánicos están palagonitizados. Por lo tanto, estos depósitos volcanoclastíticos reconocidos en la sección cretácica sugieren eventos freatomagmáticos con típico estilo eruptivo surtseyano (Baby & Barragán, 2004). Los cuerpos ígneos intrusivos equivalentes están caracterizados por sills diabásicos-gabróticos y diques basálticos.

Figura 7-22 Distribución regional de los cuerpos extrusivos e intrusivos



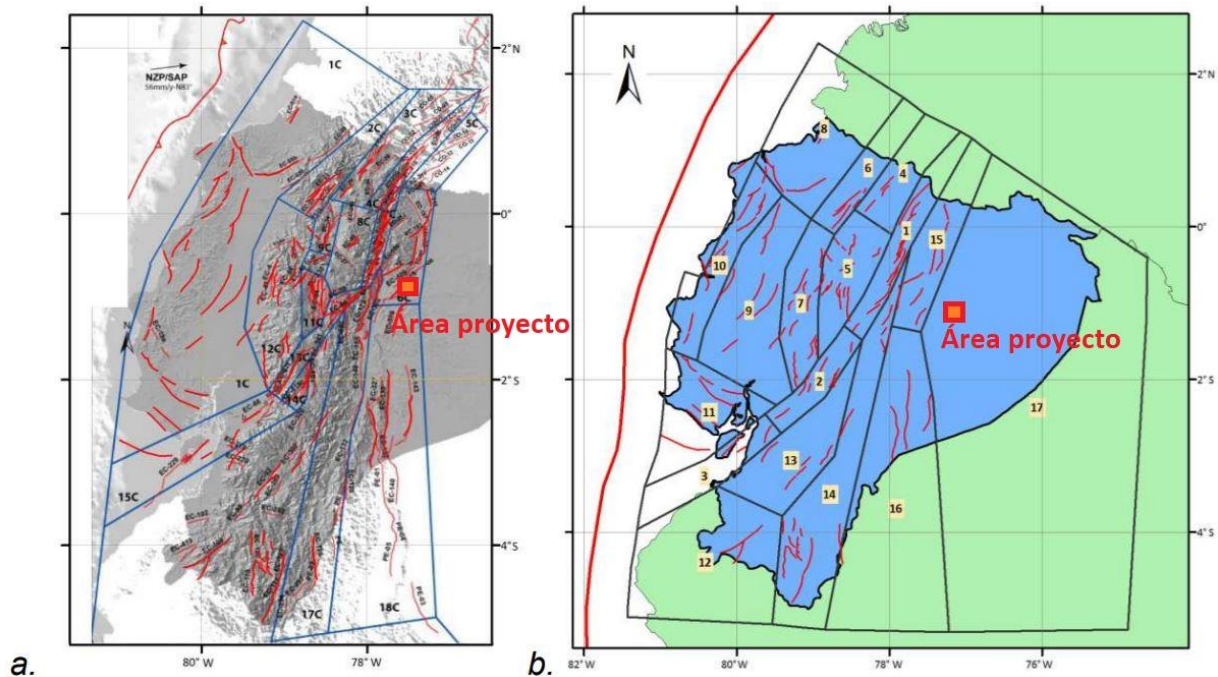
Fuente: (Baby & Barragán), 2004

7.1.2.8 Sismicidad y vulcanismo

La Cuenca Oriente es una cuenca sedimentaria de tras-arco, del Mesozoico al Cenozoico, que sobreyace a un basamento cratónico antiguo (Hughes y Pilatasig, 2000). Se caracteriza por ser una zona estable con una baja sismicidad y ausencia de fallas cuaternarias.

Acorde con las divisiones sismotectónicas para la placa superior propuesta por Alvarado (2012), el área del proyecto minero se localiza en la zona “6C”, mientras que si analizamos las divisiones sismotectónicas propuestas por Ortiz (2013), el área del proyecto minero se localiza en la zona “17”, tal y como se representa en la siguiente ilustración.

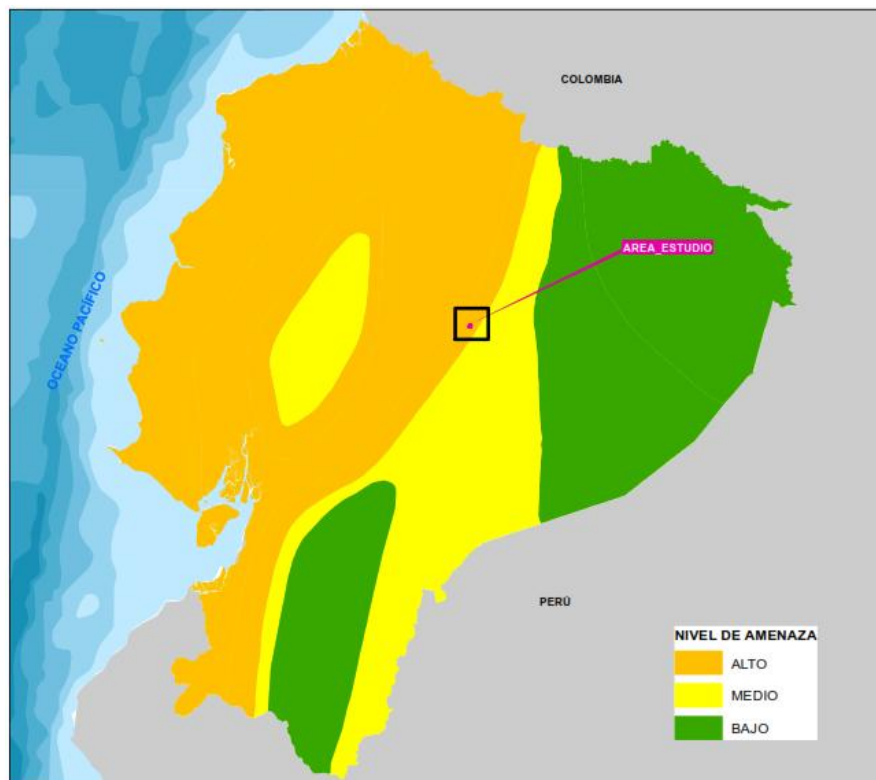
Figura 7-23 Divisiones sismotectónicas del Ecuador en la placa superior a) Alvarado, 2012; b) Ortiz, 2013



Fuente: Alvarado, 2012; Ortiz, 2013

Así también, es importante mencionar que de manera general, el Ecuador se encuentra en un área de intensa actividad sísmica debido a convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana, y a un complejo sistema de fallas superficiales localizadas a lo largo y ancho del territorio ecuatoriano. En este sentido, según la información cartográfica del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2011), el área del proyecto se encuentra en un área de amenaza sísmica alta, como se muestra a continuación:

Figura 7-24 Mapa de Nivel de Amenaza Sísmica



Fuente: IGEPN-NEC, 2011 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De forma complementaria, a continuación se presenta una tabla con los eventos sísmicos detectados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) en el periodo 2011-2018 mediante la Red Nacional de Sismógrafos y la Red Nacional de Acelerógrafos.

Tabla 7-9 Sismos Cercanos al Área de Estudio

Fecha	Profundidad (km)	Magnitud	Provincia
09/04/2011 7:26 pm.	10,04	4,0	Sucumbíos
10/29/2011 1:24 pm.	3,27	4,7	Sucumbíos
05/20/2012 3:47 am.	12	4,2	Napo
07/23/2012 8:33 pm.	12	4,0	Napo
02/05/2014 9:49 pm.	11,24	4,2	Napo
07/08/2014 2:28 am.	4,85	4,8	Napo
12/21/2014 12:40 pm.	10	5,0	Napo
02/01/2015 3:06 am.	4,07	4,0	Sucumbíos
06/05/2015 8:33 am.	10	4,4	Orellana
12/21/2015 8:14 pm.	10	4,0	Orellana
08/02/2017 7:12 pm.	2,04	4,2	Napo
01/25/2018 10:02 am.	2,72	4,6	Sucumbíos

Fuente: Instituto Geofísico, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Acorde con la tabla anterior, los eventos tectónicos registrados en el Oriente Norte, presentan una magnitud que va de 4,0 a 5,0, es decir presentan una magnitud media y poco frecuentes, adicionalmente se debe señalar que a pesar de que los mismos tuvieron lugar en la región amazónica se encontraban distantes al área de estudio.

Para mejora la resolución de la información anteriormente presentada, se analizaron además, los eventos sísmicos históricos registrados entre los años 1900-2016, en base a la información reportada por la Escuela Politécnica Nacional. En la siguiente tabla, se indican los sismos identificados en un radio de 200 km sobre el centroide del proyecto y que presentan una magnitud superior a Mw 5.

Tabla 7-10 Sismos Cercanos al Área de Estudio

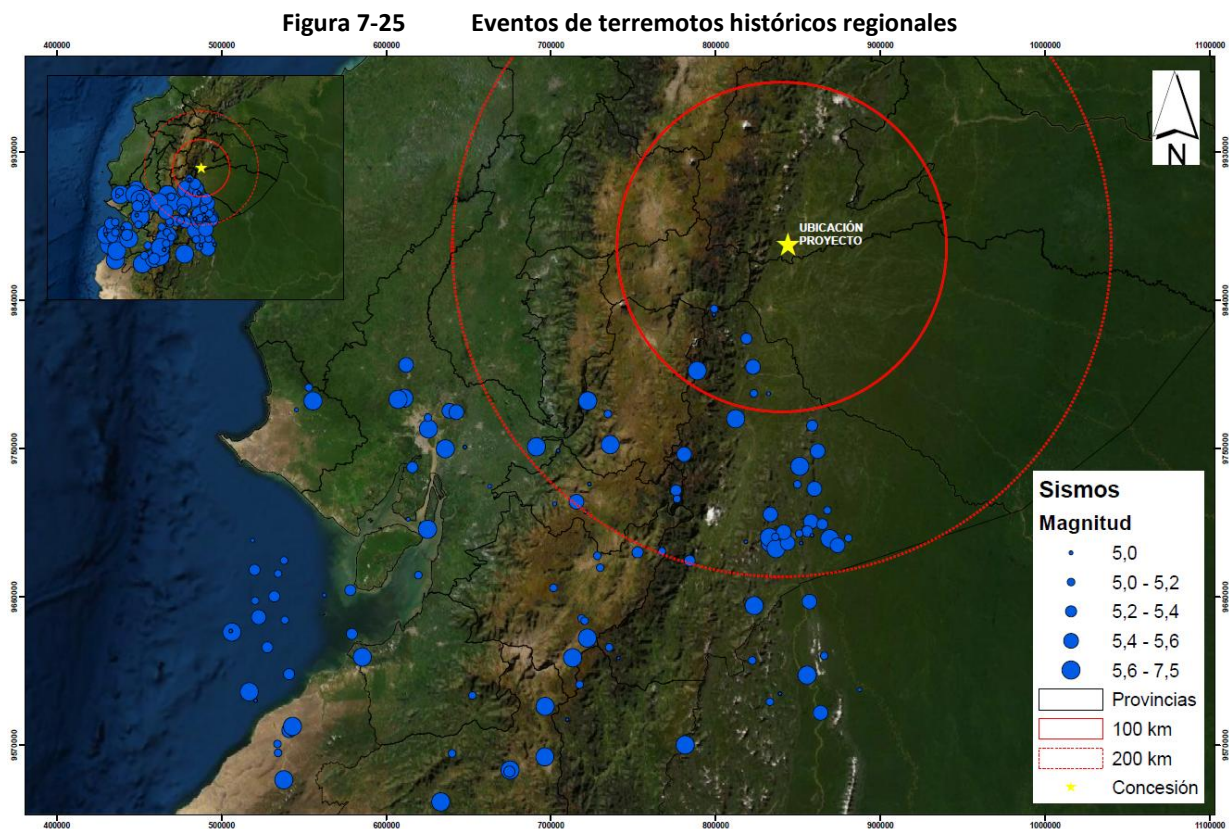
Fecha [mm/dd/aaaa]	Profundidad [km]	Magnitud	Distancia [km]*
28/9/1906	150	7,5	155,95
2/11/1935	130	6	155,95
25/10/1964	48	5,2	151,73
21/6/1967	7,8	5,4	128,31
24/10/1967	90,2	5	190,48
4/11/1967	94,4	5,8	181,99
23/2/1973	50,4	5,8	112,13
30/5/1973	104,5	5,6	143,76
20/4/1980	101,1	5,2	170,14
3/11/1981	142,7	5,9	95,98
3/2/1982	96,3	5	189,2
7/4/1982	94,3	5,3	165,66
28/4/1984	46,5	5,6	78,92
24/6/1985	55,2	5,1	94,34
12/4/1988	18,8	5,2	183,51
9/12/1988	36	5,4	186,65
11/12/1988	60,7	5,2	164,79
25/11/1990	25,1	5,3	172,72
12/6/1991	94	5,7	164,08
3/10/1995	6	5,6	182,79
3/10/1995	12,6	7	182,87

Fecha [mm/dd/aaaa]	Profundidad [km]	Magnitud	Distancia [km]*
3/10/1995	0,8	6,4	179,69
3/10/1995	7,1	5,1	179,29
3/10/1995	40,5	5,5	170,33
4/10/1995	15	5,3	176,01
5/10/1995	54,1	5,2	177,18
7/10/1995	8,3	5,7	186,35
8/10/1995	0,7	5,4	165,85
20/10/1995	8,9	5,5	176,17
29/10/1995	5,8	5	182,99
7/11/1995	5,22	5,1	147,27
28/1/1996	179,2	5,3	112,61
5/2/1996	43,3	5,5	150,81
6/4/1997	55,6	5	178,78
30/12/1998	163,8	5,3	64,11
21/6/2005	190,4	5	93
23/2/2007	156,3	5	63,63
21/7/2007	150,3	5,2	61,08
16/11/2007	122,9	6,8	136,39
21/2/2009	12	5	183,87
25/3/2014	8,1	5,6	193,54

*Distancia del sitio donde se originó el terremoto al centroide del proyecto.

Fuente: EPN, 1900-2016 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

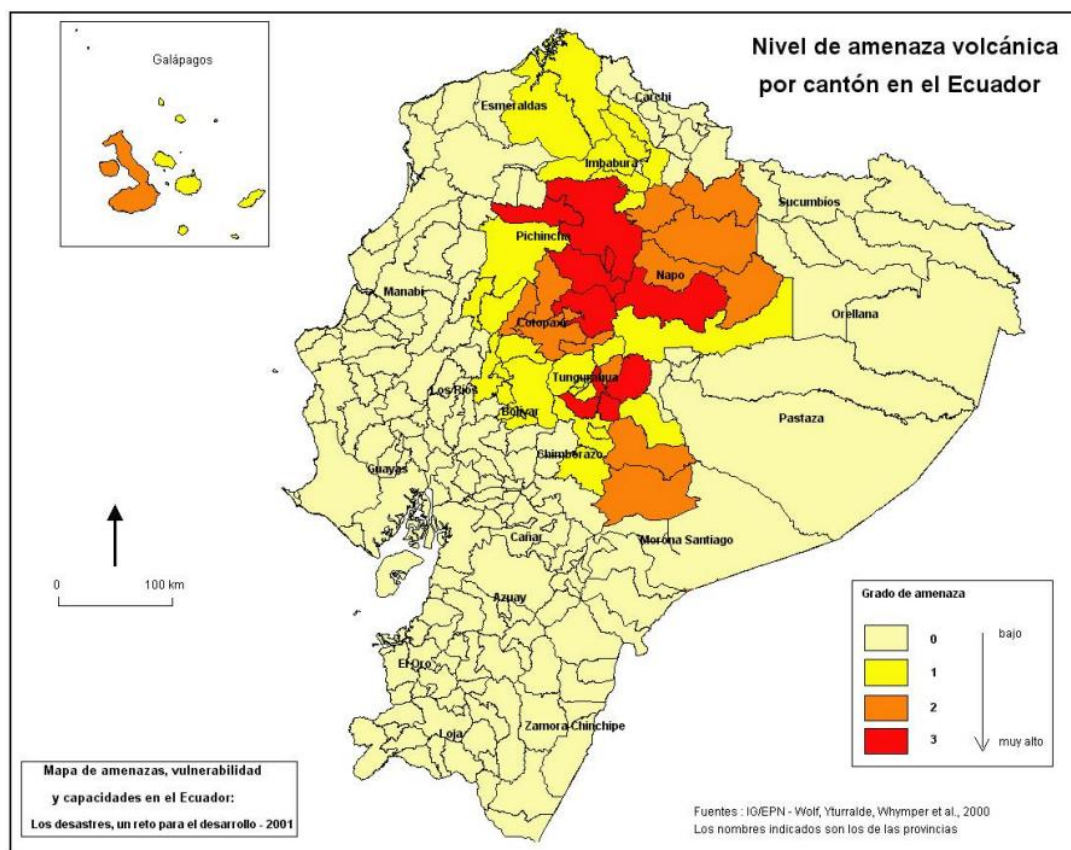
Es importante indicar que los 200 km y los eventos mayores a 5 Mw considerados como límite de análisis, se establecieron para garantizar que la evaluación contemple los eventos históricos más significativos y que pueden afectar a la infraestructura civil del proyecto (Bolt, 1978). En la siguiente ilustración se representan los sismos históricos que se han suscitado mayores a Mw 5, en un radio de 100 y 200 km, en el periodo de evaluación comprendido entre 1900 y 2016.



Fuente: EPN, 1900-2016 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

En cuanto al **vulcanismo** se debe mencionar que de acuerdo al Mapa Nivel de Amenaza Volcánica (Demoraes y D'Ercolet, 2001), el área de estudio se ubica dentro del cantón con peligro volcánico Bajo (grado 0).

Figura 7-26 Mapa de Nivel de Amenaza Volcánica



Fuente: Demoraes y D'Ercolet, 2001 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

El volcán más cercano al área de estudio es El Sumaco, con aproximadamente 80 kilómetros de distancia al área del proyecto y cuyo último evento registrado data de 1895.

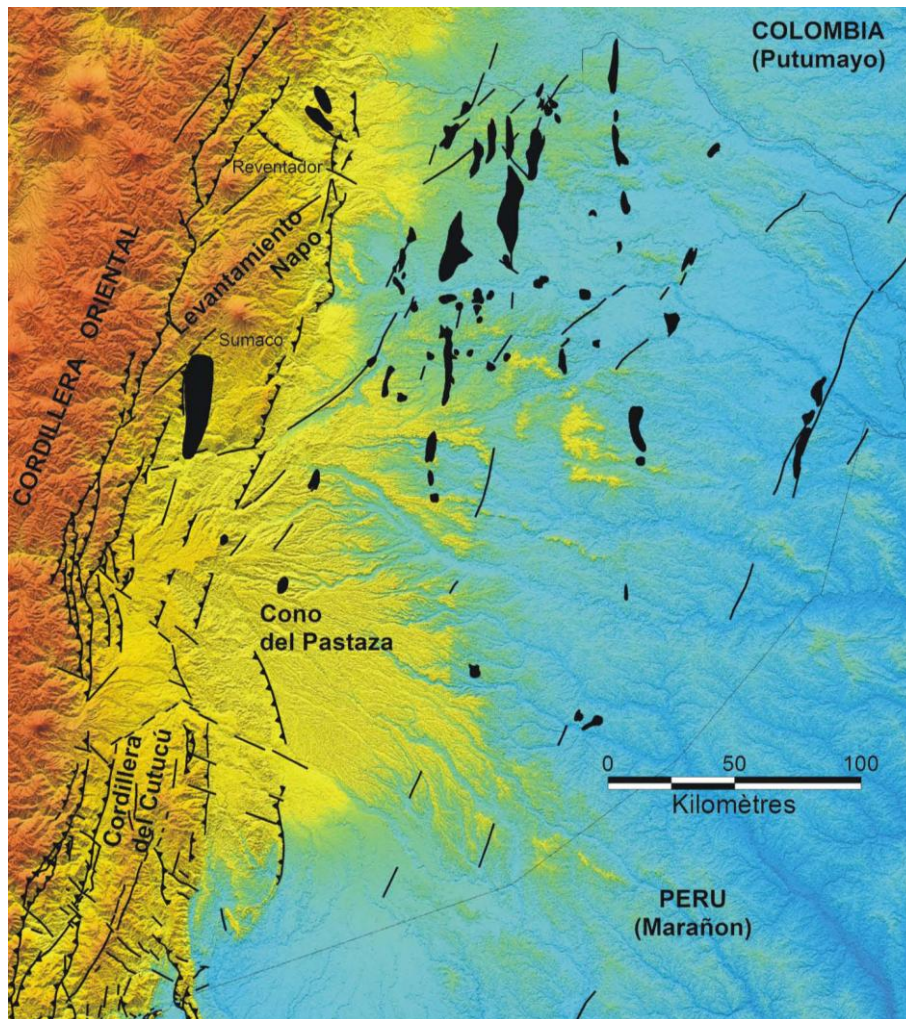
7.1.2.9 Geomorfología

La Geomorfología se ocupa de analizar las causas de la formación de una zona determinada, su evolución pasada, presente y futura; así como de describir el tipo de relieve terrestre presente en un área particular. La geomorfología está condicionada principalmente por la estructura, disposición y litología de los materiales.

La geomorfología de la Cuenca Oriente se caracteriza por relieves relativamente importantes en relación con otras cuencas del país. Entre los relieves subandinos del levantamiento Napo, al NO, y de la Cordillera del Cutucú, al SO, desemboca el mega-cono aluvial del Pastaza que se desarrolla actualmente hacia la cuenca Marañón del Perú.

Este cono está considerado como uno de los abanicos aluviales continentales más grandes del mundo (räsänen et al., 1992), que registra claramente la historia reciente de la Cuenca Oriente.

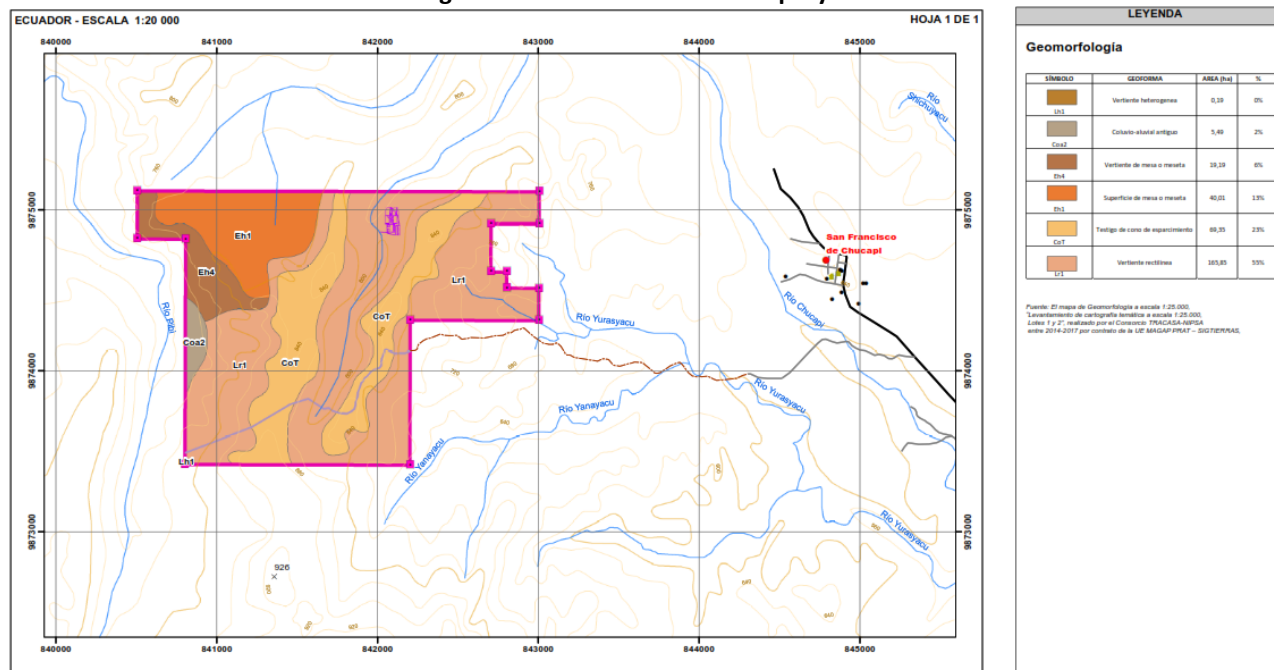
Figura 7-27 Morfología de la Cuenca Oriente



Fuente: (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

La descripción geomorfológica del área minera se realizó en base a la información cartográfica disponible en el portal SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería, escala 1: 25000, del año 2017. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas encontradas en la zona de estudio, mismas que se encuentran representadas en la siguiente ilustración. Para un mayor detalle de la información se puede consultar el mapa temático respectivo (Anexo B. Mapa 7.5).

Figura 7-28 Geoformas del proyecto



Fuente: SIGTIERRAS, 2017 / Elaborado por: Equipo Consultor, 2023

Acorde con la ilustración anterior, se puede destacar que las geoformas que intersecan con el proyecto son las siguientes.

Tabla 7-11 Geoformas del proyecto

ID	Geoforma	Símbolo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Coluvio-aluvial antiguo	Coa2	5,49	1,83%
2	Superficie de mesa o meseta	Eh1	40,01	13,33%
3	Testigo de cono de esparcimiento	CoT	69,35	23,11%
4	Vertiente de mesa o meseta	Eh4	19,19	6,40%
5	Vertiente heterogénea	Lh1	0,16	0,06%
6	Vertiente rectilínea	Lr1	165,80	55,27%
TOTAL			300 ha	100

Fuente: SIGTIERRAS, 2017 / Elaborado por: Equipo Consultor, 2023

De forma complementaria, en la siguiente tabla se presentan las características morfométricas y morfológicas asociadas a cada geoforma identificada.

Tabla 7-12 Características morfométricas y morfológicas

Geoforma	Símbolo	Pendiente	Desnivel	Long. vertiente	Forma Vertiente	Forma cima	Densidad Drenaje
Coluvio-aluvial antiguo	Coa2	MEDIA (> 12 - 25 %)	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Superficie de mesa o meseta	Eh1	MEDIA (> 12 - 25 %)	> 25 - 50 m	MODERADAMENTE LARGA (> 50 a 250 m)	RECTILÍNEA	PLANA	GRUESO (POCO DISECTADO)
Testigo de cono de esparcimiento	CoT	MEDIA (> 12 - 25 %)	> 50 - 200 m	MUY LARGA (> 500 m)	MIXTA	PLANA	GRUESO (POCO DISECTADO)

Geoforma	Símbolo	Pendiente	Desnivel	Long. vertiente	Forma Vertiente	Forma cima	Densidad Drenaje
Vertiente de mesa o meseta	Eh4	FUERTE (> 40 - 70 %)	> 100 - 200 m	LARGA (>250 a 500 m)	IRREGULAR	No Aplica	GRUESO (POCO DISECTADO)
Vertiente heterogénea	Lh1	MEDIA (> 12 - 25 %)	> 100 - 200 m	MUY LARGA (> 500 m)	MIXTA	No Aplica	MEDIO (DISECTADO)
Vertiente rectilínea	Lr1	MEDIA A FUERTE (> 25 - 40 %)	> 200 - 300 m	MUY LARGA (> 500 m)	RECTILÍNEA	No Aplica	GRUESO (POCO DISECTADO)

Fuente: SIGTIERRAS, 2017 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De las tablas presentadas con anterioridad, se puede destacar que el proyecto se desarrollará en mayor porcentaje sobre las geoformas catalogadas como: vertiente rectilínea (55,27%), testigo de cono de esparcimiento (23,11%) y superficie de mesa o meseta disectada (13,33%). Dichas geoformas presentan pendientes que van desde media a fuerte (>12 -40%) y con desniveles que varían entre >25- 300 m. Los mayores desniveles se encuentran en la parte central, este y sur-oeste de la concesión.

A continuación, se describen las geoformas¹ que intersecan con el proyecto minero para una mejor interpretación de la geomorfología.

7.1.2.9.1 Coluvio-aluvial antiguo (Coa2)

Esta geoforma se localiza en tres contextos morfológicos, Cordillera del Napo, Piedemontes próximos, con cobertura de cenizas volcánicas recientes y Medio aluvial amazónico.

De características muy similares a las del Coluvio-aluvial reciente (Coa1), se les considera antiguos a los que presentan un cierto grado de disección y sobre ellos aparece una vegetación pionera bien desarrollada.

7.1.2.9.2 Superficie de Mesa o Meseta Disectada (Eh1)

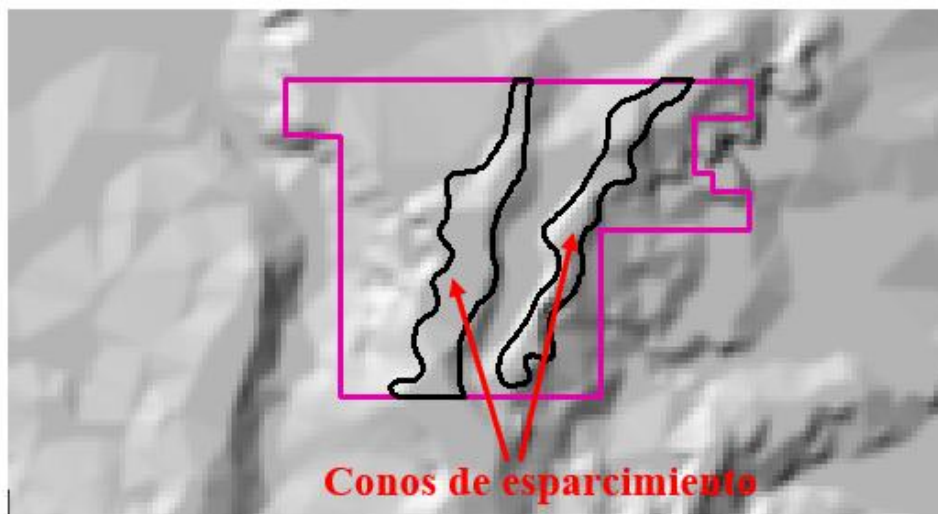
Esta geoforma se encuentra distribuida en el centro del cantón Tena en las zonas (de oeste a este). Se emplaza en los contextos morfológicos Cordillera del Napo y Etribaciones orientales subandinas. Estas mesas o mesetas con pendientes medias (de 12 a 25%), se han desarrollado sobre las capas horizontales de las rocas sedimentarias de la Formación Tiyuyacu (conglomerado de cuarzo, lutita y chert en matriz areno-limosa; areniscas con intercalaciones de lutitas rojas, grises y verdes).

7.1.2.9.3 Testigo de cono de esparcimiento (CoT)

Parte aislada o separada de un cono de esparcimiento, o que ya no conserva la morfología en planta característica de los mismos. Puede presentar diferentes grados de disección en superficie.

¹ Se señala que se presentan fotografías de las geoformas con mayor superficie de intervención en el área de estudio, por temas seguridad del personal técnico.

Figura 7-29 Unidad geomorfológica tipo “testigo cono de esparcimiento” en el área de estudio (vista en planta)



Fuente: Mapa sombras IGM, 2014 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

7.1.2.9.4 *Vertiente de mesa o meseta (Eh4)*

Al pie de las cornisas, o de las propias superficies de mesa, tanto disectadas como no disectadas, se sitúan estas geoformas. Estas vertientes enlazan las superficies y cornisas con las partes bajas del relieve.

En la Cordillera del Napo, se encuentran sobre los materiales de las formaciones Chapiza, Napo, Tena y Tiyuyacu. Por el contrario, en el contexto Piedemontes distales, se hallan únicamente sobre los materiales de la Formación Mera sobre las que se desarrollan.

Los atributos que presentan en ambos contextos son pendientes medias, de 12 a 25%, desnivel relativo de 100 a 200 metros, forma irregular y rectilínea y longitudes de vertiente superior a 500 metros.

Siendo una ladera sobre la que culmina una superficie de mesa o meseta o una superficie de mesa o meseta disectada. Ambas geoformas, vertiente y superficie, están separadas por una cornisa de mesa, que puede ser o no mapeable.

7.1.2.9.5 *Vertiente Heterogénea (Lh1)*

Es una ladera de perfil mixto (cóncavo-convexo, rectilíneocóncavo, etc.) o irregular, escasamente disectada.

La geoforma se encuentra en el contexto morfológico de la Cordillera del Napo. Son laderas de perfil mixto o irregular, que presentan un amplio rango de pendientes (del 12 al 40%), desniveles relativos comprendidos entre 100 a más de 300 metros, con una longitud de vertiente de larga a muy larga (de 250 a más 500m) y formas de la vertiente irregulares y mixtas.

Al igual que la mayoría de los tipos de ladera identificados, se presentan sobre una amplia variedad de sustratos: formaciones Tena, Napo, Tiyuyacu y Mera.

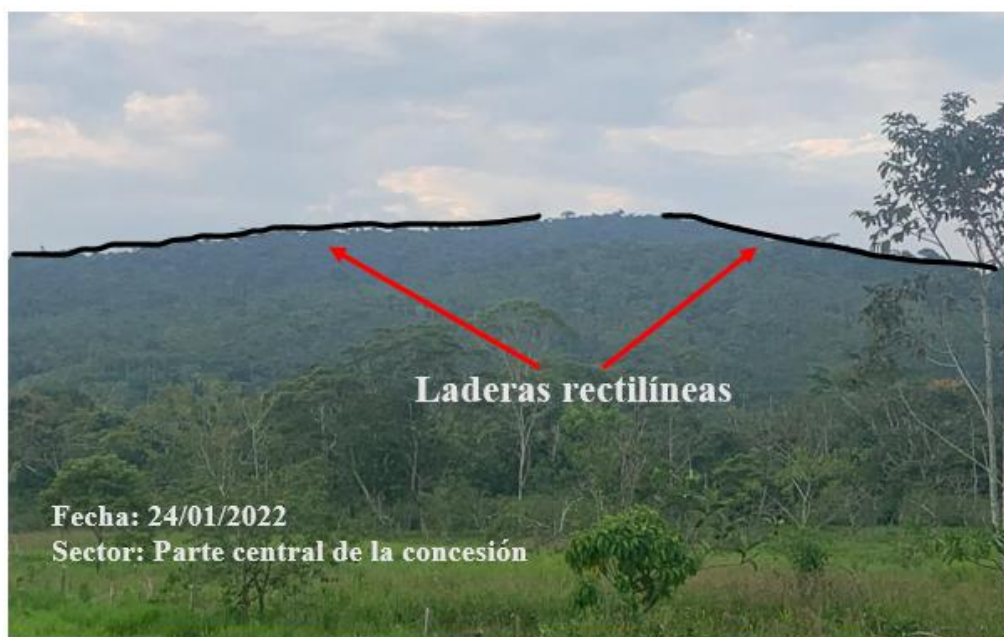
7.1.2.9.6 *Vertiente rectilínea (Lr1)*

Esta geoforma se localiza dentro de dos de los contextos morfológicos: Cordillera del Napo: paisajes estructurales, calcáreos y relieves periféricos, con cobertura de cenizas volcánicas y Piedemontes próximos, con cobertura de cenizas volcánicas recientes.

Son laderas de perfil longitudinal predominantemente rectilíneo, con pendientes comprendidas entre el 12% y el 70%, con desniveles relativos, son relativamente importantes y suelen oscilar entre 50 metros y 300 metros; con longitudes de vertiente entre 250 metros y más de 500 metros. Se desarrollan sobre un amplio

abanico de formaciones geológicas: Fm. Napo, Fm. Tena y Fm. Mera y en menor proporción Fm. Hollín y Fm. Tiyuyacu.

Figura 7-30 Unidad geomorfológica tipo “vertiente rectilínea” en el área de estudio



Fuente: TREVOLL S. A., 2021

7.1.2.9.7 Pendientes

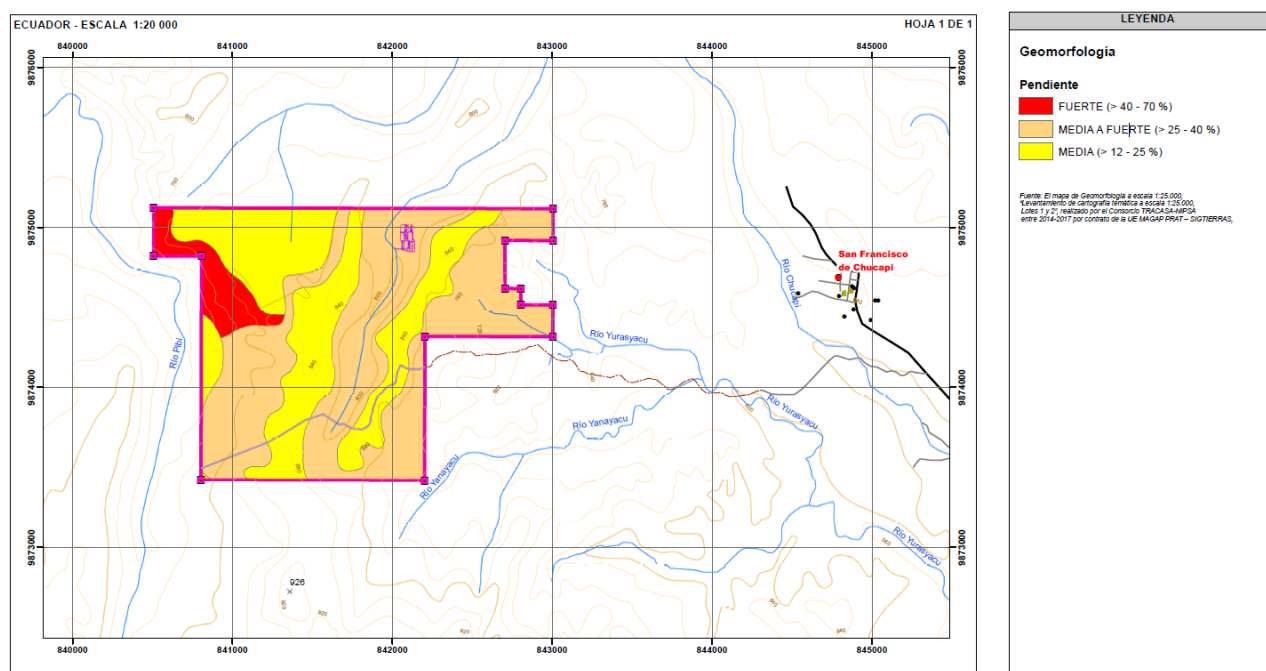
La pendiente es la inclinación del terreno respecto al plano horizontal. El cálculo se lo realiza a partir del desnivel vertical del terreno y de la distancia horizontal entre dos puntos del espacio. La pendiente se mide en grados o porcentajes (PDOT, 2019).

Tabla 7-13 Categorías de pendientes

CLASE	TIPO	PENDIENTE (%)
1	Plana	0-2
2	Muy suave	>2 – 5
3	Suave	>5 – 12
4	Media	>12 – 25
5	Media a fuerte	>25 – 40
6	Fuerte	>40 – 70
7	Muy fuerte	>70 – 100
8	Escarpada	>100 – 150
9	Muy escarpada	>150 – 200
10	Abrupta	>200

Fuente: PDOT, 2019 / Elaboración: Equipo Consultor, 2023

Figura 7-31 Mapa de pendientes



Fuente: SIGTIERRAS, 2015 / Elaboración: Equipo Consultor, 2023

Las unidades geomorfológicas predominan en las pendientes medias a fuertes, con una inclinación de entre el 25% y el 40%. La superficie restante se caracteriza por pendientes medias, entre el 12% y el 25%, y en menor proporción, por pendientes más pronunciadas, de entre el 40% y el 70%. Se puede observar esta distribución en la Figura 7-31 y en el Anexo B. 7.5A MAPA PENDIENTES.

El mapa de elevaciones es una herramienta fundamental para representar la configuración del terreno y conocer las altitudes de los diferentes puntos. En el Anexo B. Mapa 7.8 Modelo Digital de Terreno, se puede apreciar que el territorio estudiado varía entre los 600 y los 1140 metros sobre el nivel del mar. Las zonas más elevadas abarcan la mayor parte del área, con altitudes que oscilan entre los 780 y los 1140 m.s.n.m. En esta zona se encuentran geoformas como el *cono de esparcimiento* y la *vertiente rectilínea*. Por otro lado, las zonas más bajas se encuentran entre los 600 y los 780 m.s.n.m, y en ellas se ubica la geoforma *coluvio aluvial antiguo*, la *vertiente de mesa o meseta*. En el Anexo A. Mapa 7.5, se puede apreciar la representación de estas características.

7.1.2.9.8 Estabilidad geomorfológica

7.1.2.9.8.1 Zonas muy Estables (E1)

Las zonas geomorfológicas muy estables en base a su pendiente son aquellas que presentan pendientes muy bajas o casi imperceptibles. Estas zonas son generalmente planas o ligeramente onduladas y han sido poco afectadas por la actividad geológica y climática a lo largo de un período de tiempo significativo y en el caso del área de estudio no se presentan zonas con estas características.

7.1.2.9.8.2 Zonas Relativamente Estables (E2)

Esta categoría corresponde a zonas donde la estabilidad de uno a varios parámetros físico-naturales es moderada, lo que crea una mediana potencialidad de rotura del equilibrio natural.

En esta zona se puede incluir las unidades geomorfológicas donde existe una pendiente media que se encuentra distribuida en la mayor parte del proyecto. La intensa precipitación y la litología favorecen a que se desencadenen desprendimientos puntuales.

Es importante destacar que la estabilidad de una zona geomorfológica no solo depende de su pendiente, sino también de otros factores como la composición de los materiales, la tectónica y la actividad sísmica, el clima y la vegetación.

7.1.2.9.8.3 Zonas Relativamente Inestables (E3)

Las zonas geomorfológicas inestables en base a su pendiente son aquellas que presentan pendientes muy pronunciadas, lo que las hace más vulnerables a procesos de erosión y deslizamientos. Algunas de las zonas geomorfológicas inestables en base a su pendiente son: *vertientes de mesa o meseta, vertiente rectilínea*

El área de estudio presenta pendientes fuertes hacia el noroeste del proyecto (>40-70 %), combinado con la potente cobertura por lo general fino granular, alta meteorización donde aflora roca y las constantes precipitaciones de la zona han provocado saturación en secciones, dando lugar a zonas muy favorables para que existan movimientos de remoción en masa, presentando una susceptibilidad de moderada a alta.

7.1.2.9.9 *Conclusiones del componente geología y sismicidad*

El análisis del marco geológico del proyecto minero, ha permitido identificar que las principales formaciones que intersecan con la concesión son la Formación Chambira, Formación Mera y la Formación Arajuno, estas formaciones se caracterizan por presentar unidades litológicas relacionadas con conglomerados, material volcánico y areniscas de grano variable respectivamente.

Analizando la geomorfología del proyecto, se destaca que este se desarrollará en mayor porcentaje sobre las geoformas catalogadas como: vertiente rectilínea (55,27%), testigo de cono de esparcimiento (23,11%) y superficie de mesa o meseta disectada (13,33%). Dichas geoformas presentan pendientes que van desde media a fuerte (>12 -40%) y con desniveles que varían entre >25- 300 m. Los mayores desniveles se encuentran en la parte central, este y sur-oeste de la concesión.

El análisis sísmico, permitió identificar que el sector del proyecto se caracteriza por ser una zona estable con una baja sismicidad y ausencia de fallas cuaternarias. Además, la revisión de los eventos tectónicos registrados en el Oriente Norte, permitieron definir que la magnitud de los eventos que se han suscitado varía de 4,0 a 5,0, es decir presentan una magnitud media y poco frecuente; dichos eventos han sido registrados en rangos distantes al proyecto. En cuanto al vulcanismo, se señala que el área de estudio se cataloga como una zona con peligro volcánico bajo.

7.1.3 HIDROGEOLOGÍA

La elaboración de este componente consideró la información elaborada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en el año 2015, específicamente su mapa hidrogeológico, en el cual se visualiza las características de hidrogeología de la zona de estudio, así como la información obtenida del Sistema Nacional de Información, misma que fue generada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) en el año 2005, así como la información hidrogeológica según el Mapa hidrogeológico del Ecuador escala 1:1'000.000 publicado por la exSenagua ESPOL Tech en el año 2014, lo cual permitió elaborar los mapas temáticos.

La Región Oriental o Amazónica comprende las estribaciones orientales de la Cordillera Real, los vestigios de una tercera cordillera (domo del Napo) y una amplia área de selva virgen, con lluvias abundantes, permanentes y una rica biodiversidad. Ocupa el 45% del territorio total, donde predomina un clima tropical, con lluvias abundantes que caracterizan a esta cuenca.

El Mapa Hidrogeológico básico aborda en términos generales la ocurrencia de aguas subterráneas en el territorio ecuatoriano, considerándose tres grandes grupos de rocas diferenciadas por sus características litológicas y su importancia hidrogeológica (INAMHI, 2015.)

Para su representación se adoptaron símbolos estandarizados (sombreados) con tres colores de tonalidades claras donde se resalta la hidrogeología del área de estudio. La importancia hidrogeológica relativa indica que las rocas porosas (a) y las rocas fisuradas (b) encierran las mejores posibilidades desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas del grupo (c) tienen menor importancia hidrogeológica.



Acuíferos asociados con rocas clásticas no consolidadas de edad cuaternaria, con permeabilidad generalmente alta, con importancia hidrogeológica relativa; de extensión local, con calidad química del agua buena; con posibilidad de explotar a través de pozos someros.



Acuíferos en sedimentos clásticos no consolidados del cuaternario indiferenciado, que predominantemente afloran en las cuencas de los ríos Guayas, Taura, Balao, Jubones, San Miguel, Putumayo, Aguarico y Morona; y en los valles interandinos. La extensión de estos acuíferos es regional, aunque en algunos lugares son limitados, libres y/o confinados generalmente de media a alta permeabilidad, con agua de buena calidad química en la mayoría de los casos. La explotación se realiza a través de pozos perforados de profundidad variable y pozos excavados. Este grupo representa una unidad hidrogeológica de gran importancia.



Acuíferos en sedimentos clásticos consolidados y no consolidados, de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente de areniscas y conglomerados predominantes sobre arcilla, tobas y limos. Estos depósitos afloran extensamente en la Costa y Amazonía y esporádicamente en el Callejón Interandino. Forman acuíferos locales o discontinuos, de permeabilidad media, pudiendo ser explotados a través de pozos perforados de profundidad variable.



Acuíferos asociados con sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente de conglomerados, areniscas con cantidades variables de tobas, arcillas y limos. Este grupo comprende acuíferos locales o discontinuos de difícil explotación, debido en algunos casos a la gran profundidad del nivel del agua y por encontrarse en finas capas o lentes de arenas.



Acuíferos en sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente por arcillas, limos, tobas, asociados con conglomerados, areniscas, lutitas y calizas. Constituyen acuíferos muy locales y/o discontinuos de permeabilidad baja, de difícil explotación por encontrarse en finas capas o lentes de arena asociada con arcilla.

Figura 7-32 Mapa Hidrogeológico del Ecuador



Fuente: INAMHI, 2015 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

El mapa anterior, indica las propiedades relevantes de las principales unidades hidrogeológicas del área de estudio, determinando la naturaleza de los acuíferos y las áreas con mayor o menor potencial hidrogeológico. Tal información se recopila y presenta en la siguiente tabla.

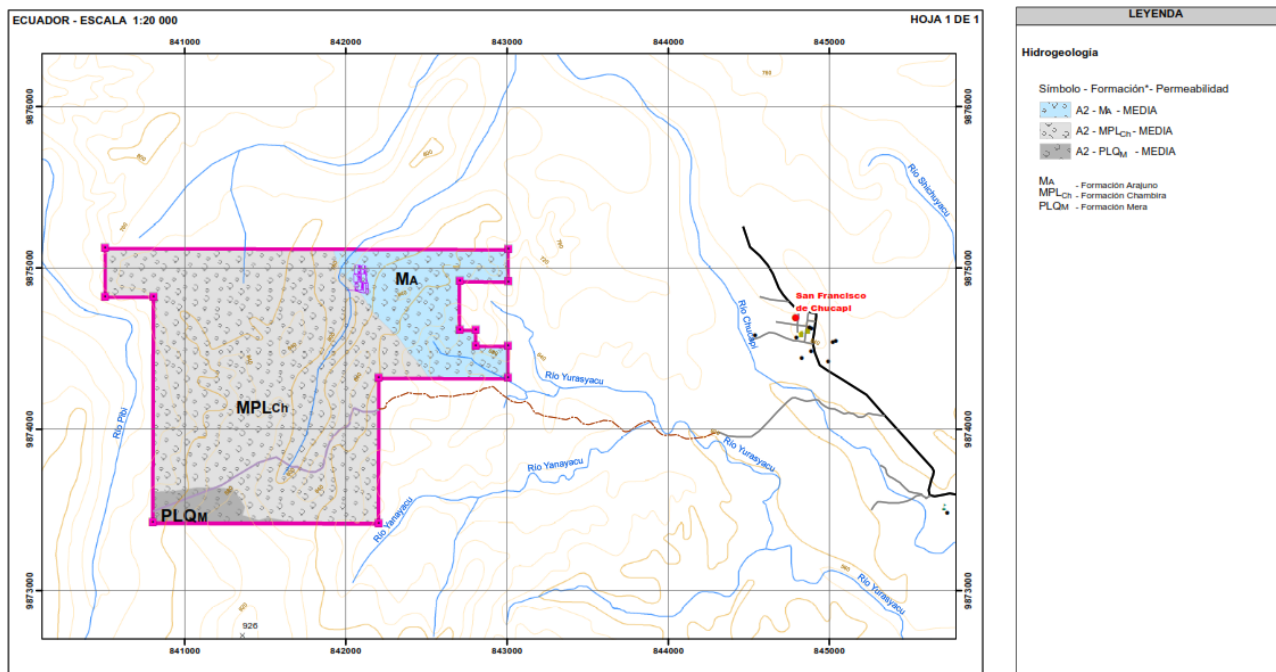
Tabla 7-14 Unidades litológicas

Símbolo	Unidad	Litología	Permeabilidad	Porosidad	Acuíferos
MP IC	F. Chambira	ARENISCAS, CONGLOMERADOS, ARCILLA MICACEA GRIS	BAJA A MEDIA	INTERGRANULAR	Locales o discontinuos
QM	F. Mera	ARCILLA, ARENISCA TOBÁCEA, BRECHA Y CONGLOMERADO	MEDIA	INTERGRANULAR	Locales o discontinuos
MA	F. Arajuno	ARENA, ARCILLA Y CONGLOMERADOS	MEDIA	INTERGRANULAR	Locales o discontinuos

Fuente: INAMHI, 2015 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Así también, en la siguiente figura y en el Anexo B. Mapa 7.7 se presenta la hidrogeología del área de estudio según el mapa hidrogeológico según el Mapa hidrogeológico del Ecuador escala 1:1'000.000 publicado por la exSenagua ESPOL Tech en el año 2014.

Figura 7-33 Hidrogeología del área de estudio



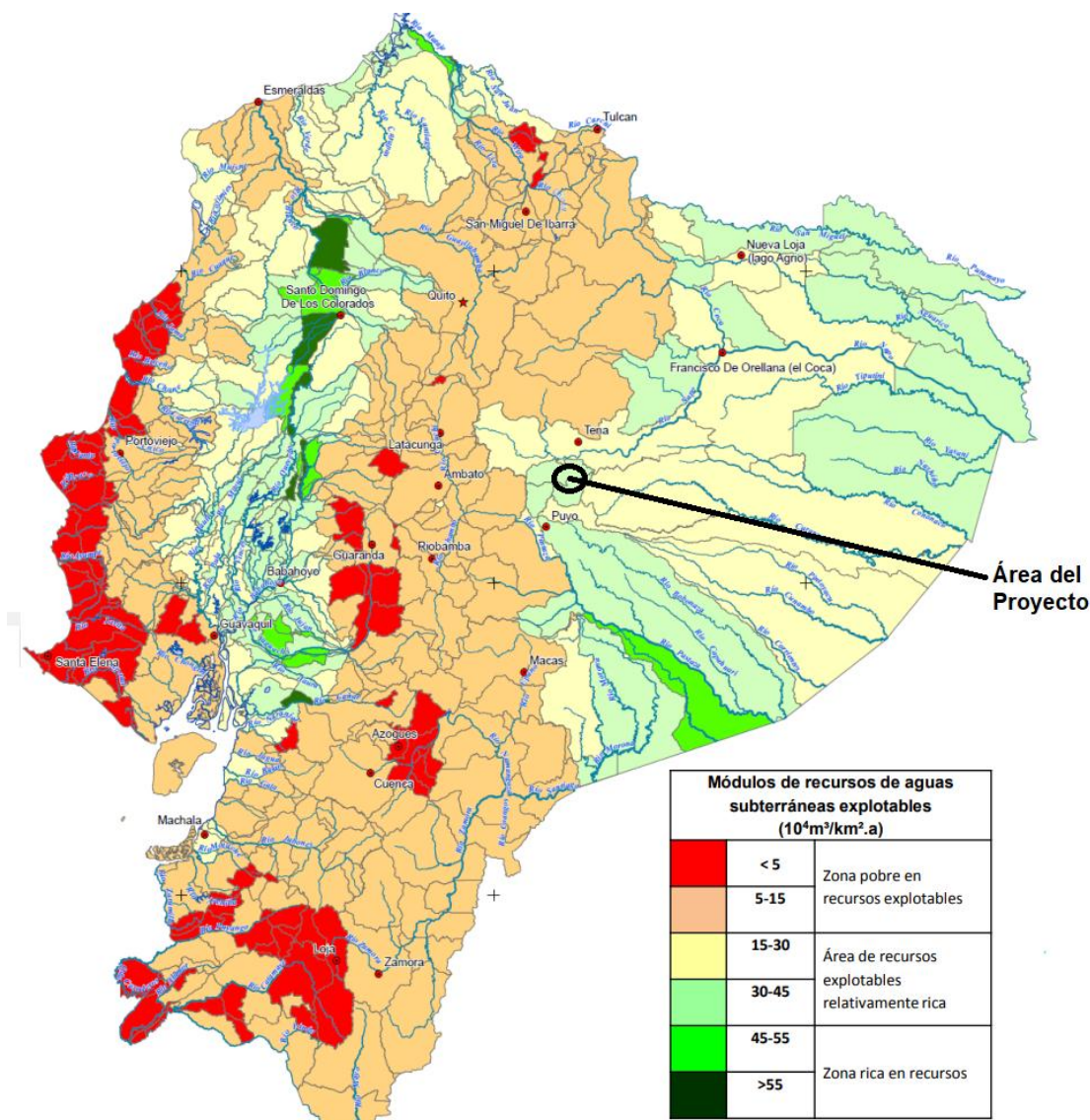
Fuente: exSENAGA, 2014 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

La Formación Chambira (permeabilidad variable de baja a medida) relacionado con areniscas, conglomerados y arcilla forman acuíferos locales o discontinuos de difícil explotación, debido en algunos casos a la gran profundidad del nivel del agua y por encontrarse en finas capas o lentes de arenas. Por otro lado, la Formación Mera (permeabilidad media) asociada con arcilla, areniscas, brechas y conglomerados forman acuíferos locales o discontinuos que pueden ser explotados a través de pozos perforados de profundidad variable. Por último, la Formación Aranjú (permeabilidad media) asociada con arena, arcilla y conglomerados también forman acuíferos locales o discontinuos que pueden ser explotados a través de pozos perforados de profundidad variable.

Es importante destacar, que según el mapa hidrogeológico presentado con anterioridad, las unidades litológicas, de la Formación Chambira, Mera y Aranjú, son permeables por porosidad intergranular. Además, se recalca que las unidades identificadas en el marco hidrogeológico coinciden con las identificadas en el marco geológico.

Adicionalmente se ha analizado la ubicación del área del proyecto en función al potencial como recurso hídrico subterráneo, para lo cual se utilizó la información del "Proyecto Arcal CXXXV", desarrollado por la SENAGUA, INAMHI, ESPOL, EPMAPS en el año 2016, encontrándose que el área del proyecto se encuentra en una "Área de recursos explotables relativamente rica", como se muestra a continuación.

Figura 7-34 Mapa de Recursos Hídricos Subterráneos del Ecuador



Fuente: SENAGUA, INAMHI, ESPOL, EPMAPS, 2016 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Es importante destacar que la recarga en esta zona depende casi estrictamente de los aportes fluviales y factores meteorológicos locales, que se ven periódicamente favorecidos por las épocas de mayor pluviosidad, que generalmente se extienden entre los meses de abril, mayo y junio.

A continuación, se realiza un análisis de las características hidrogeológicas del área del proyecto en función a sus formaciones geológicas, cuya representación gráfica se presenta en el Anexo B. Mapa 7.7.

7.1.3.1 Formación Chambira

Se encuentran ubicadas principalmente en el extremo Noreste del país ocupando un área muy extensa. Esta formación, se encuentra constituida por areniscas tobáceas, areniscas conglomeráticas y conglomerados, conformando una unidad hidrogeológica de porosidad primaria y permeabilidad alta a media debido a su constitución granular. Los caudales máximos encontrados son de aproximadamente 20 l/s y un caudal total de 137 l/s. La calidad del agua presenta en la mayoría de sitios unos valores de OD menores a los recomendados para el uso de agua como consumo humano, debido a la existencia de fosas sépticas, presencia de ganadería y flujos de petróleo, que posiblemente se encuentren contaminando los acuíferos. El

principal uso del recurso subterráneo es el consumo humano, ya sea para contacto primario o secundario. La fuente de contaminación más frecuente son las fosas sépticas, industria petrolera y en menor cantidad, la presencia de ganadería y animales domésticos. (SENAGUA, ESPOL, AECID, 2014)

7.1.3.2 Formación Mera

Se encuentra ubicada principalmente en el extremo noreste del país ocupando un área muy extensa. Esta formación geológica, se encuentra constituida por areniscas y conglomerados, conformando una unidad hidrogeológica de porosidad primaria y permeabilidad muy alta debido a su constitución granular. Los caudales máximos encontrados son aproximadamente 15 l/s y un caudal total de 75 l/s. Se puede considerar un acuífero prioritario por su capacidad y su posible contaminación debido a la industria petrolera, fosas sépticas y ganadería. La calidad del agua presenta en 1 de cada 4 muestras valores de OD menores a los recomendados para el uso de agua como consumo humano, debido a la existencia de fosas sépticas, presencia de ganadería y flujos de petróleo, que posiblemente se encuentren contaminando los acuíferos. El principal uso del recurso subterráneo es el consumo humano, ya sea para contacto primario o secundario y el 15 % para laboras de fincas. (SENAGUA, ESPOL, AECID, 2014)

7.1.3.3 Formación Arajuno

La Unidad hidrogeológica está constituida principalmente por areniscas, conglomerados, arena y arcillas abigarradas del Mioceno. Comprende una zona con posibilidades de albergar acuíferos de porosidad primaria y permeabilidad alta a media, que ocupa una extensión de la cuenca del río Santiago, situado en la provincia Pastaza y Morona Santiago. En algunas zonas se encuentra ubicado bajo la Formación Chalcana y Mera por lo que se puede presentar como acuífero libre o como acuífero confinado. No se tiene un inventario de puntos de agua en esta formación, sin embargo, se considera un potencial acuífero por su litología. (SENAGUA, ESPOL, AECID, 2014).

7.1.3.4 Conclusiones del componente hidrogeológico

El análisis del marco hidrogeológico del proyecto minero, ha permitido identificar que las principales formaciones que intersecan con la concesión son la Formación Chambira, la Formación Mera y la Formación Arajuno. La Formación Mera y Arajuno, de permeabilidad media, que se encuentran asociadas con arcilla, areniscas, brechas y conglomerados forman acuíferos locales o discontinuos que pueden ser explotados a través de pozos perforados de profundidad variable. Por otro lado, la Formación Chambira, de permeabilidad baja a medida, se encuentra relacionada con areniscas, conglomerados y arcilla que son de difícil explotación, debido en algunos casos a la gran profundidad del nivel del agua y por encontrarse en finas capas o lentes de arenas. Se destaca que las unidades litológicas, de la Formación Chambira, Mera y Arajuno, son permeables por porosidad intergranular.

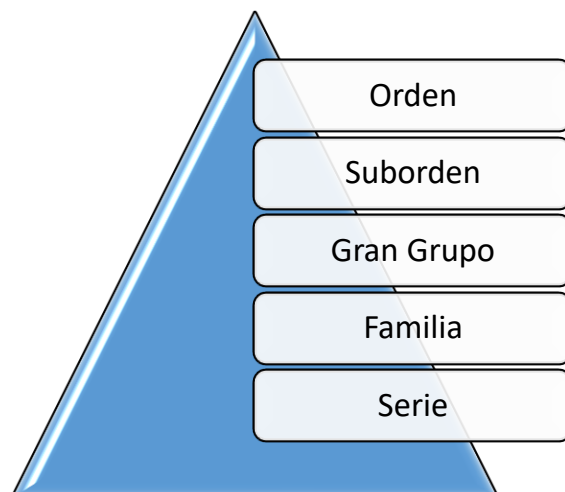
7.1.4 EDAFOLOGÍA

Para el análisis edafológico de suelos en el área de estudio, se realizó una revisión de información bibliográfica del área del proyecto, analizándose información generada por diferentes entidades como: IGM, SIG TIERRAS (MAGAP), SOIL TAXONOMY, INFOPLAN.

Las capas u horizontes son las evidencias que dejan los procesos formadores de los suelos y sirven para reconocer, individualizar y asignar un nombre con el cual se identifica un tipo de suelo permitiendo separarlo de otro suelo en un sistema ordenado de clasificación. (Ministerio de Agricultura y Ganadería - SIGTIERRAS, 2013)

El Sistema Norteamericano del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), establece claves para la Taxonomía de Suelos, misma que se basa principalmente en la morfología de los suelos, descrita en términos de sus horizontes. Este sistema utiliza 6 categorías taxonómicas o niveles jerárquicos, cada una de las cuales tiene sus propias características diferenciales o diagnósticas; con este criterio son, desde el nivel más bajo al más alto de generalización.

Figura 7-35 Mapa de Nivel de Amenaza Sísmica



Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería - SIGTIERRAS, 2013) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

A continuación, se describen los dos tipos de suelos identificados para el área del proyecto y que han sido representados en el Anexo B. Mapa 7.6., mismo que se basa en la información oficial generada por el MAGAP SIGTIERRAS.

7.1.4.1 Andisoles

Son suelos generalmente negros que se desarrollan a partir de depósitos volcánicos (ceniza volcánica, piedra pómez, lava) o de materiales piroclásticos. Manifiestan de poca a moderada evolución. Presentan un apreciable contenido de alófana (arcillas amorfas) y/o complejos de humus-aluminio, y una baja densidad aparente ($< 0,90 \text{ g/cm}^3$).

Estos suelos sufren un rejuvenecimiento frecuente y se enriquecen con los materiales nutricionales orgánicos. Son suelos con buena estructura, por lo tanto, con un buen drenaje y con buena retención de humedad. Generalmente, si están cercanos a los volcanes, su textura es gruesa y si están alejados de ellos, la textura es más fina como limosa o franco limosa. (Ministerio de Agricultura y Ganadería - SIGTIERRAS, 2013)

7.1.4.2 Inceptisoles

Son aquellos suelos incipientes o jóvenes que están empezando a manifestar el desarrollo de los horizontes pues son ligeramente más desarrollados que los Entisoles. Aquí, aparecen suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis es de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema.

También incluyen suelos cuyos horizontes de diagnóstico, aun estando algo desarrollados, carecen de rasgos pertenecientes a otros órdenes del suelo. En este orden encontramos suelos con propiedades físicas y químicas muy variables, como, por ejemplo: suelos desde mal drenados a bien drenados, texturas de arenosas a arcillosas, pH de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, con saturación de bases mayor o

menor a 60%, etc.; propiedades que han sido estratégicamente aprovechadas en nuestro sector agrícola en cultivos claves en la economía del país, como cacao, maíz duro, palma africana y banano.

En el Ecuador estos suelos tienen una gran distribución geográfica, cubriendo un sin número de unidades paisajísticas y bajo diferentes tipos de cobertura siendo los bosques, pastizales y cultivos los más representativos. (Ministerio de Agricultura y Ganadería - SIGTIERRAS, 2013)

7.1.4.3 Fase de campo

Para la descripción de las características físicas y mecánicas del suelo en el área del proyecto, se realizó el muestreo en enero de 2018, donde se tomaron dos muestras de suelo ubicadas al sur de la concesión. A continuación, se presenta la ubicación de las muestras:

Tabla 7-15 Ubicación de las Muestras de Suelo Físico Mecánico – enero 2018

#	Código	Fecha	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Descripción del Sitio
			Este (m)	Norte (m)	
1	MS-A-01-A	26-ene-18	841337	9873569	Área de bosque dentro de la Concesión Minera Alessia, sin presencia de actividad antrópica alguna.
2	MS-A-02-A	26-ene-18	841908	9873937	Área de bosque dentro de la Concesión Minera Alessia, sin presencia de actividad antrópica alguna.

Fuente: Gruentec Cía. Ltda, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Los parámetros físico-mecánicos analizados por el laboratorio, incluyeron la granulometría, el límite líquido, el límite plástico, la clasificación SUCS, entre otras, lo cual permitió conocer el tipo y características del suelo en cuanto a plasticidad y permeabilidad. Los informes de resultados se presentan en el Anexo E. 2. Componente Físico, documento 2. Monitoreo Suelo.

Tabla 7-16 Resultados Físico Mecánicos de Muestras de Suelo

#	Código	Grava	Arena	Finos	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)	SUCS	IG
1	MS-A-01-B	0	14	86	120	64	56	MH	20
2	MS-A-02-B	0	18	82	102	48	53	MH	20

Fuente: Cribatest, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Los parámetros físico mecánicos de suelos indican que en la concesión minera según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), existen suelos tipo MH que corresponde a limos de alta plasticidad. Además, se aprecia que los límites líquidos e índices de plasticidad son altos, lo que indican una alta plasticidad y poca permeabilidad.

7.1.5 SUELOS

El suelo es un recurso natural complejo, que para caracterizarlo e interpretarlo requiere de conocimientos y experiencias en diferentes campos de esta ciencia, por lo cual el análisis de este componente se lo efectuó en base a la caracterización solicitada por la normativa ambiental vigente, misma que dispone realizar un análisis físico-mecánica y un análisis químico ambiental.

Es importante señalar que se realizó un primer muestreo de calidad de suelo en enero de 2018, en el cual se tomaron dos muestras simples. Por lo tanto, considerando que el área de la concesión Alessia código 100000246 tiene una superficie de 300 hectáreas, que corresponde al área que se va a regularizar mediante

el presente estudio de impacto ambiental; y en cumplimiento a lo establecido en el numeral 4.5.1.1 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A, que indica textualmente: “Se tomará una muestra compuesta por cada 100 hectáreas, formada por 15 a 20 submuestras georeferenciadas (...)”, se realizó un nuevo muestreo el 22 y 23 de marzo de 2023, en el cual se tomaron 3 muestras compuestas, conformadas cada una por 15 submuestras representativas de la concesión minera y considerando los dos tipos de suelo presentes en el área de estudio. Los muestreos fueron realizados por el Laboratorio Gruentec Cía. Ltda, el cual se encuentra acreditado ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, por lo cual se aplicaron los procedimientos normalizados de calidad. La acreditación del laboratorio se presenta en el Anexo E. 2. Componente Físico Documento 1. Acreditación Laboratorio.



Las muestras fueron tomadas a una profundidad de entre 0,00 y 0,50 metros, con un peso de entre 0.5 y 1.0 kg, se las homogenizó, empacó en fundas ziploc y codificó. Además, se registró la ubicación geográfica de cada submuestra mediante un navegador GPS. (Anexo E. 1. Registro fotográfico Físico)

Finalmente, fueron colocadas dentro de recipientes seguros y a temperaturas adecuadas (cooler), para ser transportadas al laboratorio, dónde se realizó el respectivo análisis. A continuación, y en el Anexo B. Mapa 7.12, se presenta la ubicación de las muestras colectadas.

Tabla 7-17 Ubicación de las Muestras de Suelo – Muestreo 1

#	Código	Fecha	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Descripción del Sitio
			Este (m)	Norte (m)	
1	MS-A-01-A	26-ene-18	841337	9873569	Área de bosque dentro de la Concesión Minera Alessia, sin presencia de actividad antrópica alguna.
2	MS-A-02-A	26-ene-18	841908	9873937	Área de bosque dentro de la Concesión Minera Alessia, sin presencia de actividad antrópica alguna.

Fuente: Gruentec Cía. Ltda, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Tabla 7-18 Ubicación de las Muestras de Suelo – Muestreo 2

#	Código	Fecha	Submuestra	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Descripción del Sitio
				Este (m)	Norte (m)	
1	MS-A-03	23-mar-2023	1	841050,8	9874217	Área de bosque, zona sur de la Concesión Minera Alessia.
			2	841677,9	9874215	
			3	841661,7	9874135	
			4	841567,7	9874113	
			5	841447,6	9874088	
			6	841526,4	9873990	
			7	841422,3	9873969	
			8	841319,3	9873941	
			9	841374,1	9873873	

#	Código	Fecha	Submuestra	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Descripción del Sitio
				Este (m)	Norte (m)	
			10	841278	9873838	
			11	841146	9873811	
			12	841045,9	9873773	
			13	841015,8	9873719	
			14	841114,8	9873712	
			15	841214,8	9873746	
2	MS-A-04	22-mar-2023	1	841052,4	9874975	Área de bosque, zona noroeste de la Concesión Minera Alessia.
			2	841194,4	9874981	
			3	841307,1	9874837	
			4	841198,2	9874861	
			5	841040,1	9874856	
			6	840932,8	9874696	
			7	841044,8	9874705	
			8	841197,9	9874713	
			9	841330,9	9874742	
			10	841155,6	9874579	
			11	841022,5	9874578	
			12	840899,5	9874554	
			13	840895,3	9874464	
			14	841032,3	9874455	
			15	841131,4	9874487	
3	MS-A-05	23-mar-2023	1	842523,3	9874867	Área de bosque, zona noreste de la Concesión Minera Alessia.
			2	842585,4	9874866	
			3	842590,2	9874806	
			4	842522,2	9874802	
			5	842474,2	9874793	
			6	842457,1	9874731	
			7	842516,1	9874757	
			8	842590,1	9874737	
			9	842587	9874672	
			10	842518,9	9874670	
			11	842461,9	9874670	
			12	842587,8	9874606	
			13	842641,8	9874592	
			14	842647,7	9874531	
			15	842699,6	9874517	

Fuente: Gruentec Cía. Ltda, 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Los parámetros químicos analizados por el laboratorio, se basaron en los criterios de calidad de suelos establecidos en la Tabla 1 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A (Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados), seleccionándose aquellos parámetros relacionados con la actividad minera y que podrían verse afectados y/o modificados como parte del desarrollo proyecto; esto debido a que, la Tabla 1 considera todos los parámetros de calidad de suelo, los cuales pueden verse afectados por los diferentes sectores económicos, tales como, agrícola, hidrocarburífero, entre otros.

Tabla 7-19 Parámetros Químicos Analizados en Muestras de Suelo

Parámetro	Expresado como	Unidades	Criterio de calidad
Conductividad Eléctrica	CE	μS/cm	200
Potencial de Hidrógeno	pH	-	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio	Índice SAR	-	4
Arsénico	As	mg/Kg	12
Azufre	S	mg/Kg	250
Bario	Ba	mg/Kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	B	mg/Kg	1
Cadmio	Cd	mg/Kg	0.5
Cobalto	Co	mg/Kg	10
Cobre	Cu	mg/Kg	25
Cromo Total	Cr	mg/Kg	54
Cromo VI	Cr6	mg/Kg	0.4
Cianuro	CN-	mg/Kg	0,9
Estaño	Sn	mg/Kg	5
Fluoruros	Fluoruros	mg/Kg	200
Mercurio	Hg	mg/Kg	0.1
Molibdeno	Mo	mg/Kg	5
Níquel	Ni	mg/Kg	19
Plomo	Pb	mg/Kg	19
Selenio	Se	mg/Kg	1
Vanadio	V	mg/Kg	76
Zinc	Zn	mg/Kg	60
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/Kg	<150
Aceites y grasas	-	mg/Kg	500*
Humedad	-	-	-

(*) Criterio de Calidad señalado en la Tabla 2 del Anexo 2 del AM 097-A, considerándose la ausencia en la Tabla 1.

Fuente: Anexo 2 AM097-A, 2015 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

También es importante señalar que el área de estudio es una zona de bosque natural, donde no se identificaron actividades antropogénicas que puedan originar compuestos relacionados a otro tipo de industrias. A continuación, se presenta la justificación técnica de los parámetros de la Tabla 1 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A que no fueron analizados en el presente Estudio de Impacto Ambiental para

Exploración y Explotación simultánea, considerándose que, como parte de este proyecto no se podrían generar y por tanto influenciar en su estado natural:

- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's):** Los COVs, entre los cuales se incluyen compuestos como el Benceno, Clorobenceno, Etilbenceno, Estireno, Tolueno y el Xileno, son sustancias gaseosas que pertenecen a los hidrocarburos y que se liberan a la atmósfera cuando se utilizan derivados del petróleo como solventes y combustibles. Pueden encontrarse en la naturaleza cuando existe hidrocarburos en el medio y también puede ser sintetizados de manera artificial. Este tipo de compuestos pueden ser encontrados en ambientes donde se desarrolla la industria hidrocarburífera, la fabricación de pinturas y esmaltes, así como en la elaboración de cosméticos y tratamiento de maderas.
- **Compuestos Bifenilos Policlorados (PCBs):** Los PCBs son compuestos de origen antropogénico, pueden encontrarse en estado líquido y sólido, su uso ha sido prohibido debido a su alta toxicidad, ya que se bioacumulan y afectan a los sistemas endocrino, inmunológico y nervioso de los organismos vivos. Debido a que los PCBs son inflamables y no conducen la electricidad, fueron usados como refrigerantes y lubricantes principalmente en la industria eléctrica como aceite dieléctrico de transformadores. Los PCBs fueron prohibidos desde los años 80, pero aún pueden ser encontrados en equipos y materiales antiguos de la industria eléctrica.
- **Compuestos Clorinados Alifáticos, Clorobencenos, Hexaclorobencenos, Hexaclorociclohexano, Clorofenoles:** Son compuestos creados por el hombre que se obtienen al agregar átomos de cloro a hidrocarburos, bencenos y fenoles. Son utilizados en diferentes industrias como por ejemplo en la química y agroquímica para la fabricación de pesticidas, pinturas, solventes, entre otros. Estas sustancias pueden ser muy tóxicas y dañinas si no se emplean con controles y en concentraciones adecuadas.
- **Compuestos Fenólicos no Clorinados:** Estos compuestos se pueden encontrar en las plantas y árboles de manera natural y en industrias como la textil, alimenticia, farmacéutica y agroquímica, ya que se usando como pigmentos, antioxidantes y saborizantes.
- **Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs):** Los HAPs son sustancias químicas que se desprenden como resultados de la combustión incompleta de hidrocarburos, carbón y materia orgánica como en incendios forestales. Estos compuestos también pueden ser manufacturados para la industria farmacéutica, de pinturas y pesticidas.

A continuación, y en Anexo E. 2. Componente Físico, Documento 2. Monitoreo Suelo, se presentan los resultados químicos de las muestras de suelo:

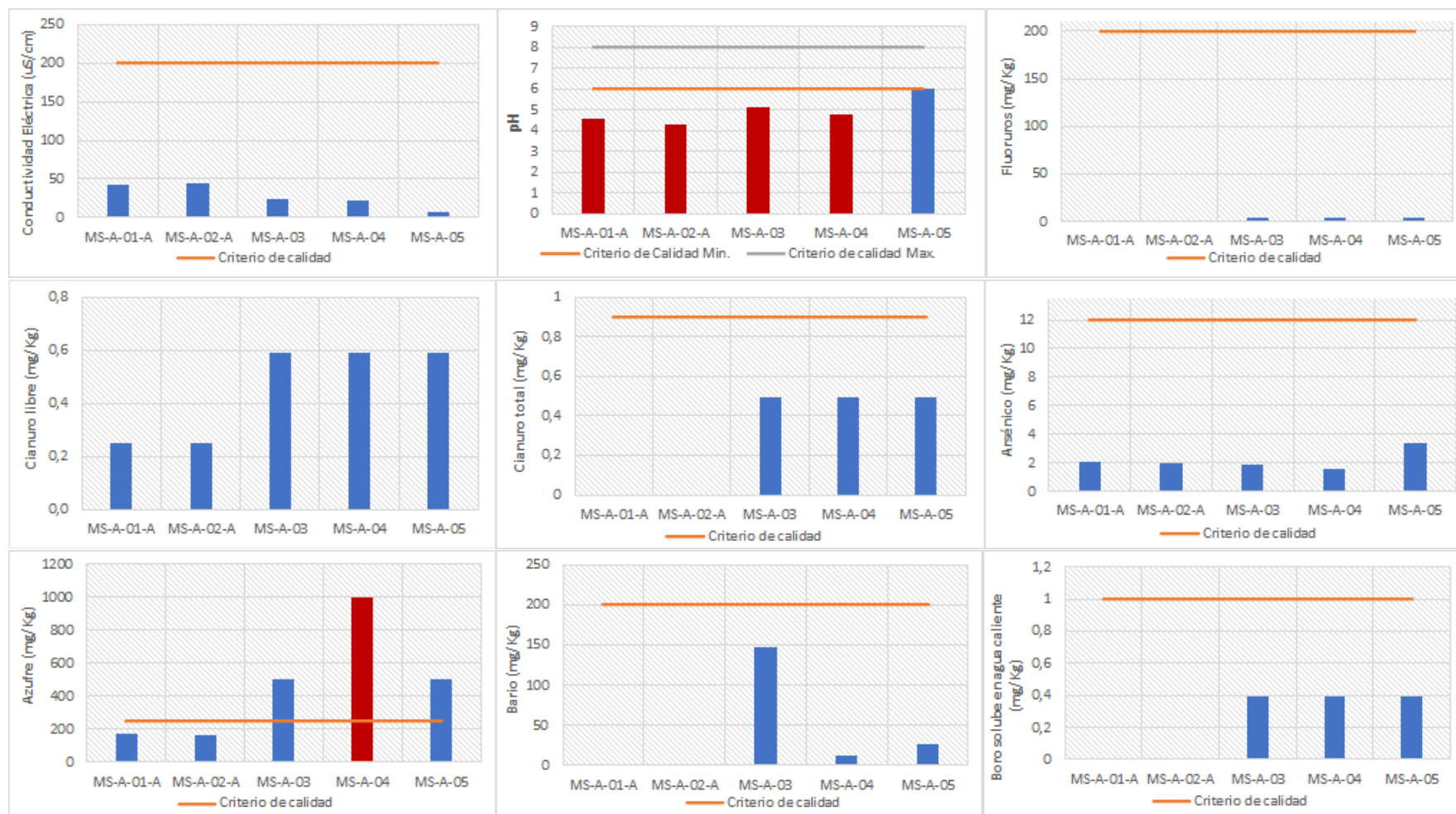
Tabla 7-20 Resultados Químicos de Muestras de Suelo

Parámetro	Unidad	Criterio de Calidad*	MS-A-01-A	Cumple o no con la normativa	MS-A-02-A	Cumple o no con la normativa	MS-A-03	Cumple o no con la normativa	MS-A-04	Cumple o no con la normativa	MS-A-05	Cumple o no con la normativa
Conductividad	uS/cm	200	43	Cumple	44	Cumple	23	Cumple	21	Cumple	7	Cumple
pH	-	6 a 8	4,6	No cumple	4,3	No cumple	5,1	No cumple	4,8	No cumple	6,0	Cumple
Fluoruro	mg/Kg	200	-	-	-	-	<1	Cumple	<1	Cumple	<1	Cumple
Cianuro libre	mg/Kg	-	<0,25	-	<0,25	-	<0,6	-	<0,6	-	<0,6	-
Cianuro Total	mg/Kg	0,9	-	-	-	-	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple
Arsénico	mg/Kg	12	2,1	Cumple	2,0	Cumple	1,9	Cumple	1,6	Cumple	3,4	Cumple
Azufre	mg/Kg	250	170,1	Cumple	<167	Cumple	<500**	ND	993	No Cumple	<500 **	ND
Bario	mg/Kg	200	-	-	-	-	148	Cumple	13	Cumple	27	Cumple
Boro soluble en agua caliente	mg/Kg	1	-	-	-	-	<0,4	Cumple	<0,4	Cumple	<0,4	Cumple
Cadmio	mg/Kg	0,5	0,1	Cumple	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple	0,1	Cumple	<0,1	Cumple
Cobalto	mg/Kg	10	2,4	Cumple	3,6	Cumple	3,2	Cumple	1,8	Cumple	5,5	Cumple
Cobre	mg/Kg	25	12	Cumple	5,2	Cumple	75	No cumple	20	Cumple	24	Cumple
Cromo Total	mg/Kg	54	12	Cumple	14	Cumple	11	Cumple	7,0	Cumple	15	Cumple
Cromo Hexavalente	mg/Kg	0,4	<0,3	Cumple	<0,3	Cumple	<1**	ND	<1**	ND	<1**	ND
Estaño	mg/Kg	5	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple	<0,5	Cumple
Mercurio	mg/Kg	0,1	0,1	Cumple	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple
Molibdeno	mg/Kg	5	1,7	Cumple	1,5	Cumple	1,4	Cumple	1,2	Cumple	1,9	Cumple
Níquel	mg/Kg	19	2	Cumple	2	Cumple	3	Cumple	2	Cumple	5	Cumple
Plomo	mg/Kg	19	14	Cumple	15	Cumple	16	Cumple	8,5	Cumple	13	Cumple
Selenio	mg/Kg	1	<1	Cumple	<1	Cumple	<1	Cumple	<1	Cumple	<1	Cumple
Vanadio	mg/Kg	76	-	-	-	-	57	Cumple	31	Cumple	84	No cumple
Zinc	mg/Kg	60	26	Cumple	21	Cumple	42	Cumple	15	Cumple	22	Cumple

Parámetro	Unidad	Criterio de Calidad*	MS-A-01-A	Cumple o no con la normativa	MS-A-02-A	Cumple o no con la normativa	MS-A-03	Cumple o no con la normativa	MS-A-04	Cumple o no con la normativa	MS-A-05	Cumple o no con la normativa
Índice SAR	-	4	-	-	-	-	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple	<0,1	Cumple
Aceites y Grasas	mg/Kg	500	-	-	-	-	1323	No cumple	2319	Cumple	1158	Cumple
TPH	mg/Kg	<150	<50	Cumple	<50	Cumple	<50	Cumple	<50	Cumple	<50	Cumple
Humedad	%	-	65	-	50,5	-	47	-	69	-	65	-
* Criterios de calidad de suelo establecidos en la Tabla 1 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A (Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados)												
** Valores con acreditación del laboratorio, pero con un límite de cuantificación mayor al criterio de calidad de la norma, lo cual no permite verificar cumplimiento. Al respecto, es importante mencionar que el laboratorio Gruntec es actualmente el que tiene más parámetros acreditados para muestreo de suelo, y los rangos de acreditación se ajustan mejor a los valores criterios de calidad establecidos en la normativa ambiental vigente, lo cual se puede evidenciar en el Anexo E. 2. Componente Físico, documento 1. Acreditación Laboratorio. Además, se puede verificar los rangos y parámetros acreditados de otros laboratorios en la página web del Sistema de Acreditación Ecuatoriano https://sisac.acreditacion.gob.ec/accreditations/scopes-public?tab=%C3%81rea%20de%20Acreditaci%C3%B3n .												

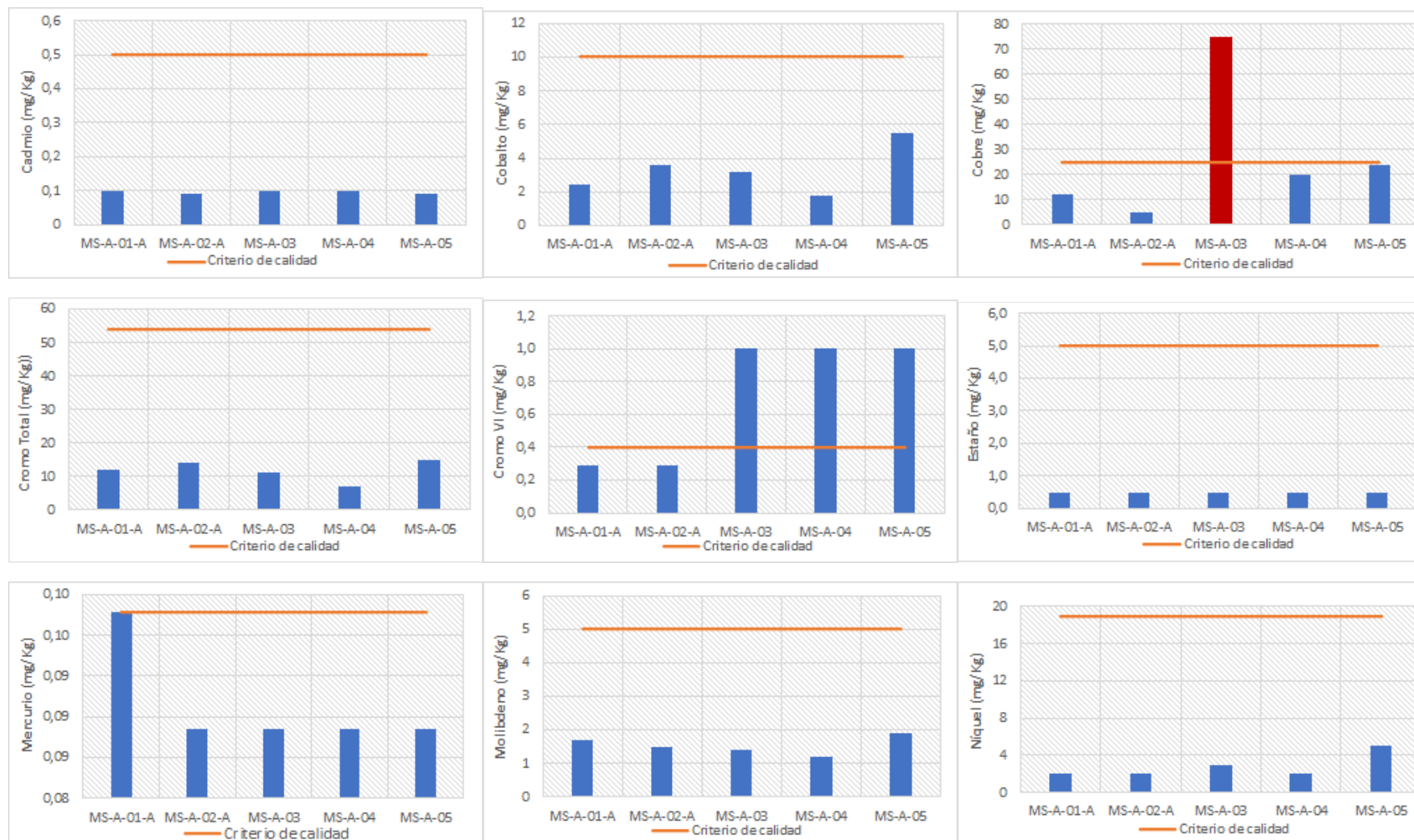
Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-36 Resultados Muestras de Suelo (CE, pH, Fluoruros, CN-, As, S, Ba, B)



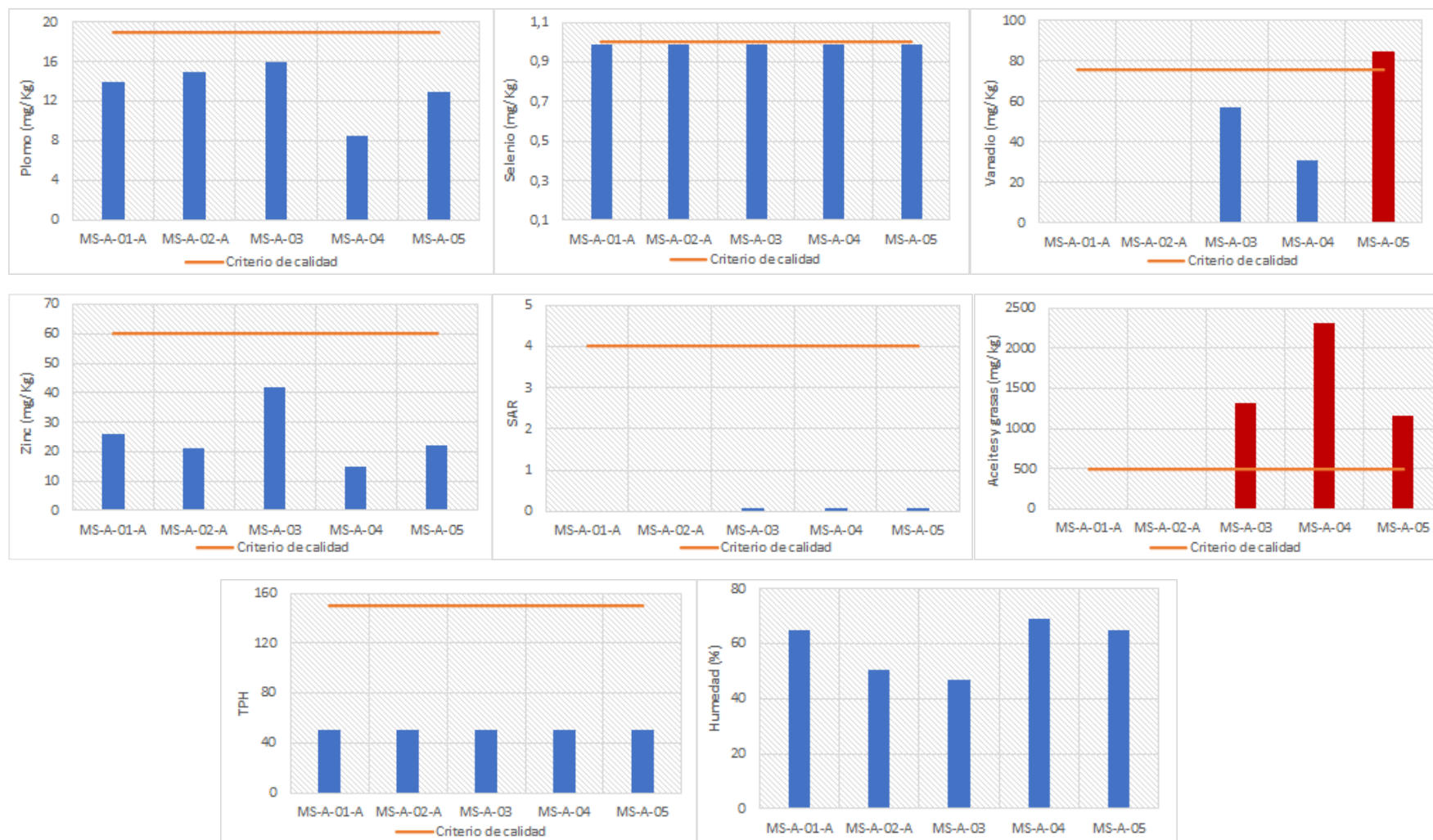
Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-37 Resultados Muestras de Suelo (Cd, Co, Cu, Cr, Sn, Hg, Mo, Ni)



Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-38 Resultados Muestras de Suelo (Pb, Se, V, Zn, Índice SAR, Aceites y grasas, TPH, Humedad)



Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

A continuación, se realiza un análisis general de los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de calidad de suelos:

- El suelo presenta una conductividad eléctrica entre 7 y 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores que cumplen con el criterio de calidad establecido en la normativa ambiental (200 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- El suelo del área del proyecto presenta características ácidas, con pH en un rango de 4,3 y 5,1. Dichos valores no se encuentran en el rango establecido en la normativa ambiental (6 – 8), exceptuando la muestra compuesta MS-A-05 cuyo pH es 6. Considerando que en el área del proyecto no existe intervención humana, y la cobertura vegetal corresponde a bosque nativo; esta condición puede estar asociada a la acidificación natural causada por las aguas lluvias, procesos biológicos en los cuales se genera ácidos orgánicos por descomposición de la materia orgánica, así como la meteorización natural de las rocas presentes en la concesión.
- El índice SAR es un cálculo a partir de las concentraciones de sodio, magnesio y calcio que estima la tendencia del agua de propiciar la compactación y apelmazamiento del suelo, mientras mayor sea, menos apta es el agua para riego, por lo tanto, los resultados de las muestras compuestas indican un valor de SAR menor a 0.1, cumpliendo con el criterio de calidad establecido en la normativa ambiental (4).
- Los resultados de Azufre (muestras MS-A-03 y MS-A-05), Cromo VI (muestras MS-A-03, MS-A-04 y MS-A-05) presentan una limitación en cuanto a los valores registrados; si bien los mismos están acreditados ante el SAE, poseen un límite de cuantificación mayor al criterio de calidad de la norma. Sin embargo, el laboratorio en sus informes de resultados del muestreo 1 también reporta que las concentraciones de Azufre y Cromo VI en las muestras MS-A-01-A y MS-A-02-A se encuentran acorde a los criterios de calidad definidos en la normativa aplicable (250 mg/Kg Azufre y 0,4 mg/Kg Cromo VI). Así también, es importante señalar que la concentración de azufre en muestra MS-A-04, ubicada en la zona noroeste de la concesión, presenta un valor de 993 mg/Kg, dicho valor no cumple con el criterio de calidad establecido en la normativa analizada.
- En la muestra compuesta MS-A-03 el parámetro Cobre presenta una concentración superior al criterio de calidad, al igual que el parámetro Vanadio en la muestra compuesta MS-A-05, cuyos valores reportados son 75 y 84 mg/Kg, respectivamente.
- Respecto a los parámetros de Arsénico, Bario, Boro, Cianuro, Fluoruros, Cadmio, Cobalto, Cromo total, Estaño, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc y TPH, se verifica que los resultados de los análisis presentan concentraciones acordes a los criterios de calidad establecidos en la normativa ambiental.
- Es importante señalar que, a pesar de que las muestras compuestas analizadas en la zona de estudio presentan concentraciones de TPH que cumplen con el criterio de calidad establecido en la normativa ambiental, se registra presencia de aceites y grasas que sobrepasan los criterios de calidad en las muestras compuestas MS-A-03, MS-A-04 y MS-A-05 con valores de 1323, 2319 y 1158 mg/Kg, respectivamente. Dicha condición podría estar relacionada principalmente con la presencia de aceites naturales y procesos de descomposición de materia orgánica del bosque existente.

Bajo este contexto, se establece que las concentraciones de los parámetros analizados son las condiciones actuales del suelo del área de estudio determinados como línea base, mismas que podrían estar asociadas a las formaciones geológicas, procesos de descomposición de materia orgánica del bosque existente, entre otros.

7.1.6 USO DE SUELO

Según la información cartográfica oficial de uso de tierra y cobertura vegetal elaborada por el Ministerio del Ambiente en el año 2018, y en base a la imagen satelital de la concesión minera, se puede concluir que toda

el área de estudio tiene cobertura de bosque, sin evidenciarse zonas intervenidas por actividades antrópicas. En el Anexo B. Cartografía, se presenta el mapa correspondiente, donde se puede observar lo descrito.

Tabla 7-21 Uso actual del Suelo

Concesión	Tipo de Cobertura Vegetal	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Alessia	Bosque	300,00	100,00
	Total	300,00	100,00

Fuente: MAE, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Carlos Julio Arosemena Tola, el área del proyecto se encuentra en una zona rural categorizada como de protección y conservación (Ver Anexo. Documento 7).

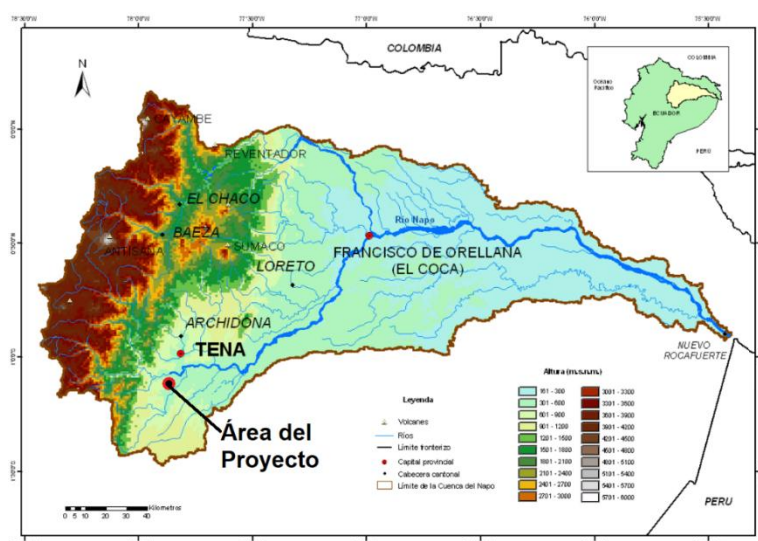
7.1.7 HIDROLOGÍA

La región Oriental es la de mayor riqueza hidrográfica del país; hay un sinnúmero de ríos caudalosos que bajan de las mesetas andinas y de las estribaciones de las cordilleras. La enorme cantidad de lluvias que cae en los flancos andinos orientales es la fuente inagotable de tan numerosos ríos. Al pasar por la subregión del Alto Oriente los ríos son caudalosos y torrentosos y sólo en pequeños tramos pueden ser navegados por pequeñas embarcaciones, pero al llegar a la llanura puede ser navegados por embarcaciones mayores; la línea limítrofe actual pasa justamente por donde los ríos aumentan su caudal y facilitan la navegación. (Pombosa, Bourrel, Armijos, & Magat, 2006)

La caracterización hidrológica se realizó mediante una descripción de las cuencas, subcuencas y microcuencas presentes en el área del proyecto minero en función del Mapa Hidrográfico del Ecuador e información oficial de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).

El sistema hidrográfico del área del proyecto pertenece a la cuenca del río Napo, siendo el río más grande del Ecuador, recoge las aguas de los deshielos del Antisana, Sincholagua, Cotopaxi y Llanganates que al unirse forman el Jatunyacu, éste se junta con el Anzu, desde donde toma el nombre de Napo. En su curso superior es torrentoso y lleno de remolinos, debido a sus fuertes pendientes. En su tramo medio se junta al Coca y se convierte en un río de fácil navegación. (Pombosa, Bourrel, Armijos, & Magat, 2006)

Figura 7-39 Sistema hidrográfico del área del proyecto

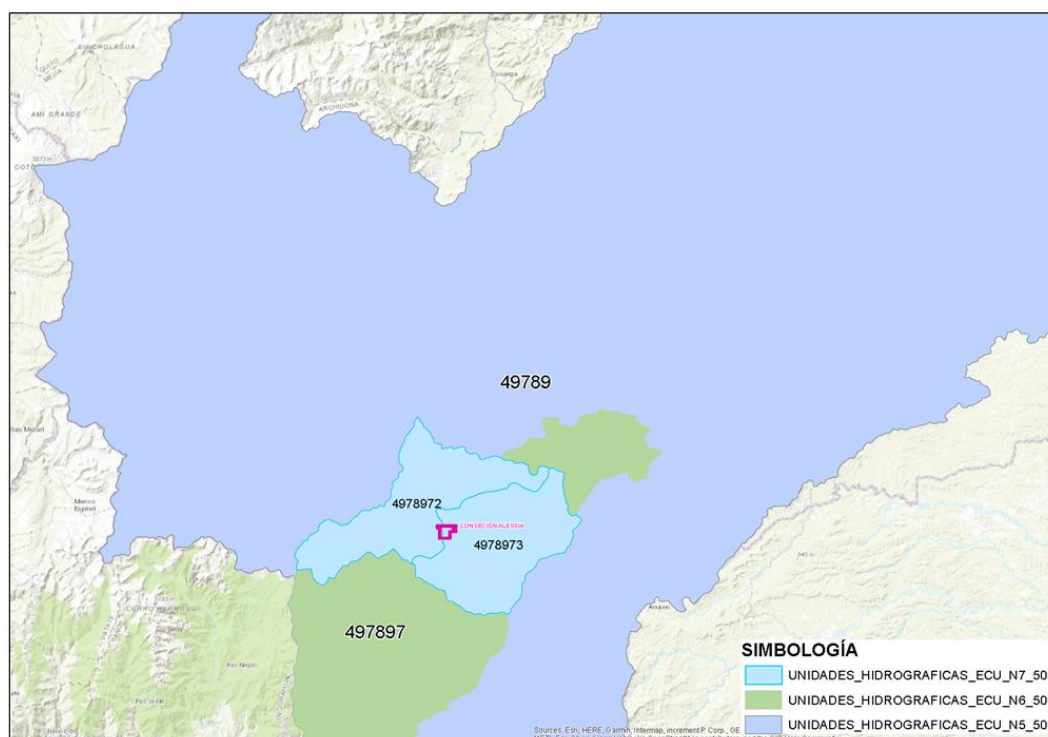


Fuente: (Pombosa, Bourrel, Armijos, & Magat, 2006) / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

En base a la información oficial de SENAGUA para la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Ecuador por medio de la Metodología Pfafstetter, el área del proyecto se encuentra en la Unidad Hidrográfica 49789, correspondiente al Nivel 5, con área de aproximadamente 12451,78 km².”

Considerando las unidades hidrográficas Nivel 6, la concesión se encuentra en la Unidad Hidrográfica 497897 que tiene un área de 1253,78 km². Tomando en cuenta las unidades hidrográficas nivel 7, que es el nivel de detalle hasta dónde llega información oficial actual, el área de estudio se encuentra dentro de la Unidad Hidrográfica 4978972 y la Unidad Hidrográfica 4978973 con superficies aproximadas de 260,23 km² y 255,47 km² respectivamente.

Figura 7-40 Unidades hidrográficas N5, N6 y N7



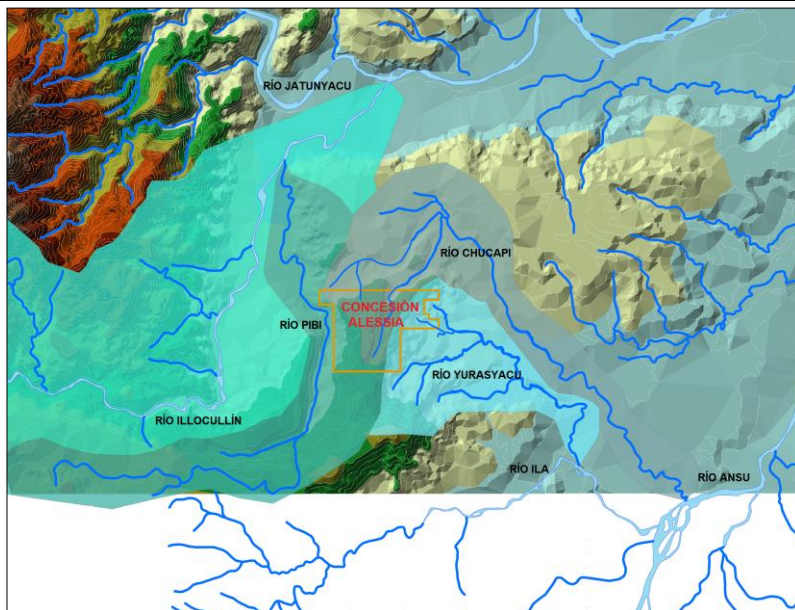
Fuente: SENAGUA, 2017 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2021

Como se puede observar en la figura anterior, la unidad hidrográfica Nivel 5 es una cuenca demasiado extensa en relación al área de la concesión minera, por este motivo se consultó la información oficial de la unidad Nivel 6 que corresponde a la cuenca del río Jatunyacu y del Nivel 7 que corresponden a las cuencas de los ríos Anzu y Jatunyacu; sin embargo, se observó que el área de esta unidad hidrográfica continuaba siendo muy extensa para la superficie que abarca la zona de estudio. Por este motivo, con la ayuda de la topografía disponible, se trazaron las cuencas hidrográficas de los ríos Chucapi, Pibi y Yurasyacu que corresponde al Nivel 8 y Nivel 9 que por su extensión se ajusta de mejor manera al área de concesión minera. Las principales características de estas microcuencas se presentan a continuación:

Tabla 7-22 Cuenas Hidrográficas del Área Minera Alessia

Microcuenca	Subcuenca	Cuenca	Sistema	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de los Cauces (km)	Densidad de Drenaje (Dd)	Clase de Densidad de Drenaje	Coefficiente de Compacidad (Kc)	Significado
R. Chucapi	R. Ansu	Río Ansu	Napo	14,72	25,59	19,94	1,32	Baja	1,87	Cuenca alargada rectangular

Microcuenca	Subcuenca	Cuenca	Sistema	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud de los Cauces (km)	Densidad de Drenaje (Dd)	Clase de Densidad de Drenaje	Coefficiente de Compacidad (Kc)	Significado
R Pibi	R. Illocullín	Río Jatunyacu	Napo	16,55	29,57	17,07	1,03	Baja	2,04	Cuenca alargada rectangular
R. Yurasyacu	R. Illá	Río Ansu	Napo	8,73	14,96	13,30	1,52	Baja	1,42	Cuenca Oval alargada



Nótese que pese a existir 3 microcuencas hidrográficas relacionadas con el área del proyecto, la principal actividad minera se realizará en la microcuenca del río Chucapi, y es en la cual se enfocó el esfuerzo de muestreo.

Fuente: IGM, 2014 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el coeficiente de compacidad (Kc), que establece una relación entre el perímetro de las cuencas y el perímetro de una circunferencia para definir una forma aproximada de las unidades hidrográficas, tiene un valor de 1,87 y de 2,04 para las cuencas de los ríos Chucapi y Pibi respectivamente, lo que indica que las cuencas presentan una forma alargada asemejándose a un rectángulo. En cambio, la cuenca del río Yurasyacu tiene un valor de Kc de 1,42, lo cual revela una forma alargada ovalada. Por otro lado, la densidad de drenaje, que es una relación entre la longitud total de los cauces y el área de la cuenca para determinar la capacidad de drenaje de la misma, presenta valores relativamente bajos para las tres cuencas (1,32; 1,03 y 1,52) lo cual indica una baja capacidad de drenaje en caso eventos de lluvia, característica que puede estar influenciada por la abundante cobertura vegetal del área, así como la permeabilidad y resistencia a la erosión del suelo. En relación a los tipos de patrones de drenaje característicos de las cuencas hidrográficas, los ríos Chucapi, Pibi y Yurasyacu poseen cuencas detríticas, es decir, cuenca cuyos tributarios se unen a su río principal desde diferentes direcciones. Es el patrón de drenaje más común en el medio ambiente y se origina en suelos con materiales resistencia homogénea o uniforme.

Una vez identificadas las cuencas hidrográficas del área del proyecto se realizó una fase de campo para determinar las características hidrométricas de los principales cuerpos hídricos.

La caracterización hidrométrica incluyó un levantamiento de la sección transversal y medición de la velocidad superficial, con lo cual se procedió a realizar el cálculo del caudal en la sección medida, utilizándose la fórmula de Manning para canales abiertos, la cual puede aplicarse cauces naturales, especialmente en zonas elevadas.

$$Q = (A * R^{2/3}) * (S^{1/2} / n)$$

Donde: A: Área de la sección de control o de aforo (m²)

S: Pendiente del canal

R: Radio hidráulico, $R = A$ (área mojada) / P (perímetro mojado)

n: Coeficiente de rugosidad (0.05 flujo natural con cauce pedregoso)

Q: Caudal o descarga en (m³/s)

La ubicación de la sección transversal consideró un tramo relativamente recto de los cauces, se utilizó una cinta y vara métrica, y se registró las condiciones instantáneas, de época seca y época lluvia.

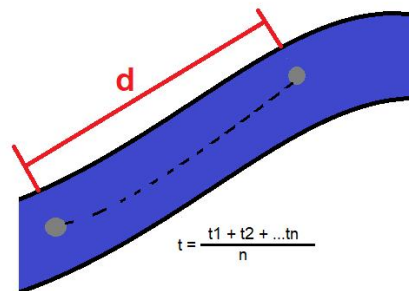
La determinación de la velocidad superficial instantánea de la sección transversal fue realizada utilizándose el método del “flotador”, mismo que consiste en:

- Establecer una distancia acorde a la velocidad de cada cuerpo hídrico.
- Señalizar el inicio y final de la distancia establecida.
- Dejar caer el flotador aguas arriba del inicio del tramo señalado.
- Registrar el tiempo que tarda en recorrer el flotador la distancia establecida.
- Repetir el procedimiento varias veces para obtener una velocidad más representativa.
- Calcular la velocidad de la sección transversal aplicándose una ecuación validada.

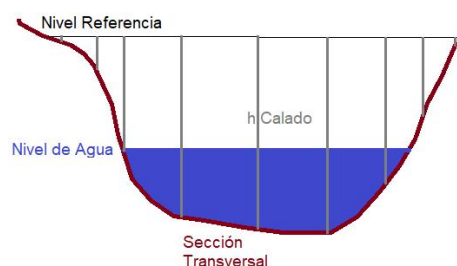
En la siguiente figura se ejemplifica el trabajo realizado.

Figura 7-41 Ejemplo de Levantamiento Sección Transversal y Toma de Velocidad

Medida Velocidad



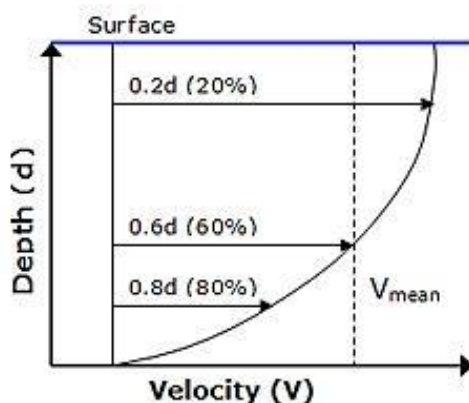
Sección Transversal



Fuente: M. López, 2018. / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Una vez calculada la velocidad superficial instantánea, se procedió a realizar una corrección del 80% para obtener la velocidad de flujo, considerándose el comportamiento que se tiene con base a la profundidad (calado).

Figura 7-42 Variación de velocidad de flujo en base a la profundidad



Elaborado por: Equipo Consultor, 2022

La información de campo se procesó con un software versión libre, aplicándose la fórmula de Manning, con el cual se pudo estimar el caudal Instantáneo (medido en campo), el caudal en época de lluvia y en época seca (los dos últimos en base a consultas a las personas del sector y experiencia del equipo consultor).

Cabe mencionar que, los sitios donde se realizaron las mediciones para determinar las características hidrométricas son los mismos en los cuales se realizó la toma de muestras de calidad de agua, por lo tanto, el código de identificación es el mismo.

Además, es importante señalar que, el primer levantamiento de las características hidrométricas se realizó en enero de 2018 en los sitios MA-A-01 y MA-A-02*, este último se incluye dentro del análisis de forma referencial recalándose que se encuentra fuera de la concesión minera y pertenece a la microcuenca hidrográfica del Río Chucapi aguas abajo de la concesión; además, con el propósito de caracterizar todos los cuerpos hídricos que se encuentran dentro de los límites del proyecto, se realizó una fase de campo complementaria en los sitios MA-A-02, MA-A-03 y MA-A-04 en marzo de 2023.

A continuación, y en el Anexo B. 7.10 MAPA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, se presenta la ubicación de los sitios en los cuales se realizó el levantamiento de las características hidrométricas (secciones transversales y velocidades superficiales). Para lo cual, se consideraron los cuerpos hídricos que atraviesan la concesión y sitios aguas arriba y aguas abajo del área de estudio. Con los resultados obtenidos, se pudo estimar los caudales en condición instantánea, en época seca y en época lluviosa.

Tabla 7-23 Ubicación Sitios de Muestreo para la Caracterización Hidrométrica y Calidad de Agua

Concesión	Código Muestra	Fecha	Cuerpo Hídrico	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Uso del Recurso
				Este (m)	Norte (m)	
Alessia	MA-A-01	26/01/18	Estero SN (Aguas Arriba dentro de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	841614	9873773	Uso para preservación de la vida acuática y silvestre.
	MA-A-02*	26/01/18	Río Chucapi (Fuera de la concesión, Aguas Abajo de la Concesión Minera)	842033	9875084	

Concesión	Código Muestra	Fecha	Cuerpo Hídrico	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Uso del Recurso
				Este (m)	Norte (m)	
	MA-A-02	22/3/2023	Estero SN (Aguas Abajo al límite de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	845313	9873776	
	MA-A-03	22/3/2023	Estero SN, afluente del río Chucapi	841396	9874936	
	MA-A-04	20/3/2023	Estero SN, afluente del Yurasyacu	842947	9874334	

*Punto de muestreo fuera de la concesión, solo se considera como un punto referencial con los datos tomados en enero 2018.

Fuente: Fase de Campo, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Las características hidrométricas verificadas en sitio, así como los caudales calculados en función de la fórmula de Manning se resumen en la siguiente tabla, las fichas hidrométricas con los perfiles levantados se presentan en el Anexo E.2. Documento 8. Fichas Hidrográficas AL.

Tabla 7-24 Características hidrométricas

Código	Cuerpo hídrico	Época	Velocidad (m/s)	Pendiente (m/m)	Caudal (m³/s)
MA-A-01	Estero SN (Aguas Arriba dentro de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	Seca	0,15	0,00275	0,03
		Instantánea	0,19		0,07
		Lluvia	0,86		5,11
MA-A-02	Estero SN (Aguas Abajo al límite de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	Seca	0,21	0,00180	0,09
		Instantánea	0,24		0,16
		Lluvia	0,75		5,66
MA-A-03	Estero SN, afluente del río Chucapi	Seca	0,17	0,00100	0,06
		Instantánea	0,20		0,10
		Lluvia	0,33		1,05
MA-A-04	Estero SN, afluente del río Yurasyacu	Seca	0,43	0,01400	0,09
		Instantánea	0,45		0,17
		Lluvia	1,31		4,19

Fuente: Fase de Campo, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Adicionalmente cabe recalcar que los cuerpos hídricos analizados son ríos pequeños que presentan caudales instantáneos entre 0,07 y 0,170 m³/s, y descargan sus aguas en ríos más grandes como es el río Chucapi y río Yurasyacu. El río Chucapi presenta un caudal instantáneo de 4,81 m³/s, según información levantada en enero de 2018 (punto referencial MA-A-02*).

7.1.8 CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua fue determinada en base a un análisis químico de los cuerpos hídricos de interés en el área del proyecto, a través de la colección de muestras de agua en base a los métodos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés).

La ubicación y el número de muestras a tomar, consideró además del Mapa Hidrográfico del Ecuador, los siguientes criterios:

- Áreas de Implantación del proyecto minero, con el objetivo de conocer cómo se podrían influenciar en variaciones de las condiciones iniciales de los cuerpos hídricos.
- Trazado de las Microcuencas hidrográficas del área del proyecto minero, con el objetivo de caracterizar el principal cuerpo hídrico relacionado al proyecto.
- Ubicación de las principales fuentes de agua dentro del área del proyecto minero, con el objetivo de establecer posibles condiciones sensibles del sector.
- Establecer puntos de muestreo, aguas arriba y aguas abajo del área del proyecto minero, con el objetivo de definir condiciones de calidad de agua antes y después de la Concesión Minera, para verificar posibles variaciones.
- Considerar cuerpos hídricos de interés y/o sensibles (sitios de captación, sitios de muestreo, puntos de control).
- Uso de los cuerpos hídricos en el área del proyecto (preservación de biota acuática y recreación.)

Es importante indicar que siempre se consideró aspectos de seguridad del personal que ingresó a realizar los trabajos de muestreo en campo, con el objetivo de precautelar su integridad.

La muestra MA-A-01 se tomó en la parte más alta de la cuenca del río Chucapi, donde nace el río SN, que es aportante del río Chucapi y que recorre toda la concesión de Sur (S) a Noreste (NE). En el mismo cuerpo hídrico se tomó la muestra MA-A-02 aguas abajo, previo a su salida del área de la concesión minera.

La muestra MA-A-02* fue colectada aguas abajo, fuera de la concesión minera porque se requiere conocer la calidad del agua una vez que ésta sale de los límites del área de estudio para poder comparar el estado del recurso con futuros monitoreos. Por otro lado, con el propósito de caracterizar todos los cuerpos hídricos que se encuentran dentro del área del proyecto, se colectaron las muestras MA-A-03 y MA-A-04 en los Esteros SN.

En base a los criterios mencionados anteriormente, se pudo realizar la toma de muestras de agua de tal manera que se cubrió toda el área del proyecto minero.

Durante la fase de campo se procedió a coleccionar el agua en envases estériles. Las muestras fueron debidamente etiquetadas y posteriormente almacenadas en coolers, para la conservación de las mismas con hielo hasta la llegada al laboratorio acreditado ante el SAE.

Durante el muestreo se utilizó guantes estériles para evitar cualquier tipo de contaminación y el agua fue tomada a contracorriente. En cada punto de muestreo se tomaron las coordenadas geográficas utilizando un sistema de posicionamiento global (UTM-WGS 84) y se realizó el registro fotográfico (Anexo E.1, Documento 1. Registro fotográfico Físico).



A continuación, y en el Anexo B. 7.11 MAPA DE MUESTREOS DE AGUA, se presenta la ubicación de los sitios en los cuales se realizó la toma de la muestra para el análisis de la calidad de agua. Para lo cual, se consideraron los cuerpos hídricos que atraviesan la concesión y sitios aguas arriba y aguas abajo del área de estudio.

Tabla 7-25 Ubicación Sitios de Muestreo para la Caracterización Hidrométrica y Calidad de Agua

Concesió n	Código Muestra	Fecha	Cuerpo Hídrico	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Uso del Recurso
				Este (m)	Norte (m)	
Alessia	MA-A-01	26/01/18	Estero SN (Aguas Arriba dentro de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	841613,95	9873772,94	Uso para preservación de la vida acuática y silvestre.
	MA-A-02*	26/01/18	Río Chucapi (Fuera de la concesión, Aguas Abajo de la Concesión Minera)	845312,55	9873776,22	
	MA-A-02	22/3/2023	Estero SN (Aguas Abajo al límite de la Concesión Minera, afluente del Río Chucapi)	842950,31	9874334,23	
	MA-A-03	22/3/2023	Estero SN, afluente del río Chucapi	842060,72	9875078,18	
	MA-A-04	20/3/2023	Estero SN, afluente del Yurasyacu	841419,31	9874921,49	
*Punto de muestreo fuera de la concesión, solo se considera como un punto referencial con los datos tomados en enero 2018, para poder comparar el estado del recurso con futuros monitoreos.						

Fuente: Fase de Campo, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Los parámetros químicos a ser analizados por el laboratorio, se basaron en los criterios de calidad de agua establecidos en la Tabla 2 de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, considerándose que el uso principal del recurso hídrico es para preservación de la vida acuática y silvestre, seleccionándose aquellos parámetros relacionados con la actividad minera y que podrían verse afectados y/o modificados como parte del desarrollo proyecto; esto debido a que, la Tabla 2 considera todos los parámetros de calidad de agua, los cuales pueden verse afectados por los diferentes sectores económicos, tales como, agrícola, hidrocarburífero, entre otros.

Tabla 7-26 Parámetros Analizados para Calidad de Agua

Parámetro	Unidad	Criterio Calidad
pH	-	6.5 – 9
Conductividad	μS/cm	-
Oxígeno disuelto	mg/L	-
Oxígeno saturación	%	>80
Materia flotante	-	Ausencia
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-
Amonio	mg/L	-
Amonio como Amoniaco	mg/L	-
Nitrato	mg/L	13
Nitrito	mg/L	0.2
Cianuro Libre	mg/L	0.01
Cianuro Total	mg/L	0.01
Cloro total residual	mg/L	0.01
Aceites y Grasas	mg/L	0.3
DBO	mg/L	20
DQO	mg/L	40

Parámetro	Unidad	Criterio Calidad
Fenoles	mg/L	0.001
TPH	mg/L	0.5
Tensoactivos	mg/L	0.5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	200*
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2000*
Aluminio	mg/L	0.1
Arsénico	mg/L	0.05
Bario	mg/L	1
Berilio	mg/L	0.1
Boro	mg/L	0.75
Cadmio	mg/L	0.001
Cobalto	mg/L	0.2
Cobre	mg/L	0.005
Cromo	mg/L	0.032
Estaño	mg/L	-
Hierro	mg/L	0.3
Manganeso	mg/L	0.1
Mercurio	mg/L	0.0002
Níquel	mg/L	0.025
Plata	mg/L	0.01
Plomo	mg/L	0.001
Selenio	mg/L	0.001
Zinc	mg/L	0.03
* Criterios de Calidad de Aguas para fines recreativos, Tabla 6 del Anexo 1 del AM 097-A, considerándose la ausencia en la Tabla 2.		

Fuente: Anexo 1 AM097-A, 2015 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

También es importante señalar que el área de estudio es una zona de bosque natural, donde no se identificaron actividades antropogénicas que puedan originar compuestos relacionados a otro tipo de industrias. A continuación, se presenta la justificación técnica de los parámetros de la Tabla 2 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que no fueron analizados en el presente estudio:

- **Compuestos Bifenilos Policlorados (PCBs):** Los PCBs son compuestos de origen antropogénico, pueden encontrarse en estado líquido y sólido, su uso ha sido prohibido debido a su alta toxicidad, ya que se bioacumulan y afectan a los sistemas endocrino, inmunológico y nervioso de los organismos vivos. Debido a que los PCBs son inflamables y no conducen la electricidad, fueron usados como refrigerantes y lubricantes principalmente en la industria eléctrica como aceite dieléctrico de transformadores. Los PCBs fueron prohibidos desde los años 80, pero aún pueden ser encontrados en equipos y materiales antiguos de la industria eléctrica.
- **Clorofenoles:** Son compuestos creados por el hombre que se obtienen al agregar átomos de cloro a los fenoles. Son utilizados en diferentes industrias como por ejemplo en la química, agroquímica y textil para la fabricación de pesticidas y conservación de telas y pieles. Su presencia es común en descargas de curtiembres y en zonas agrícolas. Estas sustancias pueden ser muy tóxicas y dañinas si no se emplean con controles y en concentraciones adecuadas.
- **Piretroides:** Son sustancias sintetizadas de manera artificial que se utilizan como insecticidas para cultivos, animales y productos de uso humano como shampoos y repelentes. Pueden encontrarse en

el agua por procesos de escorrentía desde plantaciones agrícolas, lo cual puede ser muy perjudicial para la fauna acuática por ser compuestos tóxicos para los peces.

- **Plaguicidas Organoclorados:** Son compuestos químicos artificiales elaborados usando cloruros o ácido clorhídrico para controlar las plagas que afectan a los cultivos y a las personas como vectores de enfermedades. Son sustancias tóxicas y resistentes a la biodegradación, de ahí proviene su efectividad. Su uso está enfocado en la industria agrícola, donde es componente activo de insecticidas, fungicidas y herbicidas.
- **Plaguicidas Organofosforados:** Son compuestos creados como plaguicidas a partir del ácido fosfórico. Al igual que los plaguicidas organoclorados, son utilizados principalmente en la industria agrícola, aunque también tiene su aplicación en la industria petroquímica, de pinturas y solventes, así como en la industria textil.

Respecto a los resultados de las muestras de calidad de agua, a continuación, se presentan un análisis de los mismos, cuyos respaldos se presentan en el Anexo E.2. Documento 3.

Tabla 7-27 Resultados Químicos de Muestras de Agua

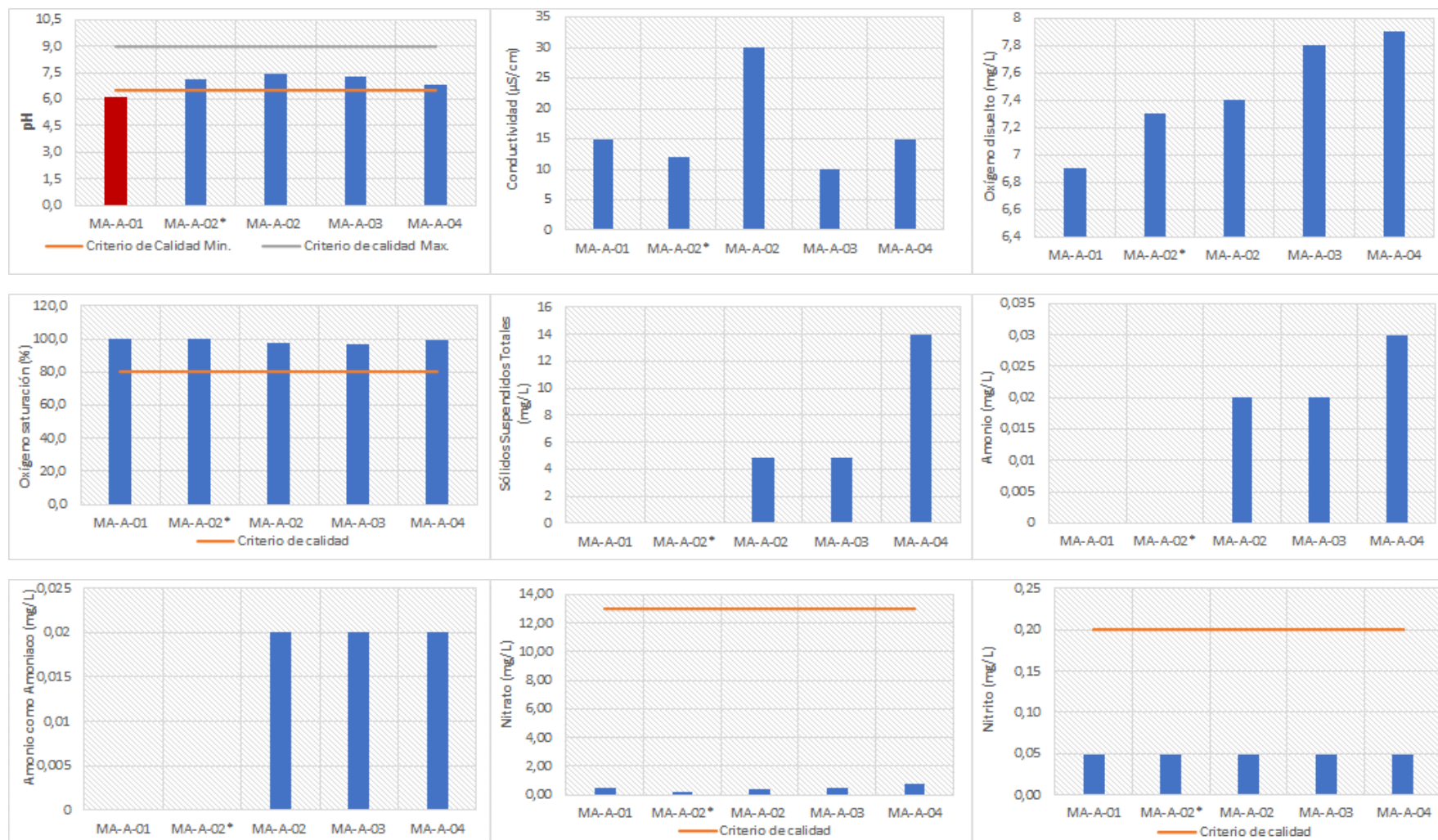
Parámetro	Unidad	Criterio de Calidad*	MA-A-01	Cumple o no con la normativa	MA-A-02*	Cumple o no con la normativa	MA-A-02	Cumple o no con la normativa	MA-A-03	Cumple o no con la normativa	MA-A-04	Cumple o no con la normativa
pH	-	6.5 - 9	6,1	No cumple	7,1	Cumple	7,4	Cumple	7,3	Cumple	6,8	Cumple
Conductividad	µS/cm	-	15	-	12	-	30	-	10	-	15	-
Oxígeno disuelto	mg/L	-	6,9	-	7,3	-	7,4	-	7,8	-	7,9	-
Oxígeno saturación	%	>80	> 100	Cumple	> 100	Cumple	97,7	Cumple	96,8	Cumple	99,5	Cumple
Materia flotante	-	Ausencia	-	-	-	-	Ausencia	-	Ausencia	-	Ausencia	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	Max incremento de 10% condición natural	-	-	-	-	<5	-	<5	-	14	-
Amonio	mg/L	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	-	0,03	-
Amonio como Amoniaco	mg/L	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	-	0,02	-
Nitrato	mg/L	13	0,49	Cumple	0,2	Cumple	0,42	Cumple	0,45	Cumple	0,73	Cumple
Nitrito	mg/L	0.2	< 0,05	Cumple	< 0,05	Cumple	< 0,05	Cumple	< 0,05	Cumple	< 0,05	Cumple
Cianuro Libre	mg/L	0.01	-	-	-	-	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple
Cianuro Total	mg/L	0.01	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple
Cloro total residual	mg/L	0.01	-	-	-	-	< 0,1**	ND	< 0,1**	ND	< 0,1**	ND
Aceites y Grasas	mg/L	0.3	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple
DBO	mg/L	20	< 2	Cumple	< 2	Cumple	< 2	Cumple	< 2	Cumple	< 2	Cumple
DQO	mg/L	40	< 4	Cumple	< 4	Cumple	< 5	Cumple	< 5	Cumple	11	Cumple
Fenoles	mg/L	0.001	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple
TPH	mg/L	0.5	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple	< 0,3	Cumple
Tensoactivos	mg/L	0.5	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple

Parámetro	Unidad	Criterio de Calidad*	MA-A-01	Cumple o no con la normativa	MA-A-02*	Cumple o no con la normativa	MA-A-02	Cumple o no con la normativa	MA-A-03	Cumple o no con la normativa	MA-A-04	Cumple o no con la normativa
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	200	< 30	Cumple	90	Cumple	1100	No cumple	170	Cumple	1700	No cumple
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2000	24000	No cumple	1500	Cumple	5400	No cumple	16000	No cumple	22000	No cumple
Aluminio	mg/L	0.1	0,22	No cumple	0,04	Cumple	0,06	Cumple	0,04	Cumple	0,43	No cumple
Arsénico	mg/L	0.05	< 0,001	Cumple	< 0,0005	Cumple	< 0,0005	Cumple	< 0,0005	Cumple	0,0005	Cumple
Bario	mg/L	1	-	-	-	-	0,0087	Cumple	0,010	Cumple	0,017	Cumple
Berilio	mg/L	0.1	-	-	-	-	< 0,0002	Cumple	< 0,0002	Cumple	< 0,0002	Cumple
Boro	mg/L	0.75	-	-	-	-	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple	< 0,02	Cumple
Cadmio	mg/L	0.001	< 0,0002	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple
Cobalto	mg/L	0.2	-	-	-	-	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	0,0006	Cumple
Cobre	mg/L	0.005	< 0,01**	ND	< 0,005	Cumple	< 0,005	Cumple	< 0,005	Cumple	< 0,005	Cumple
Cromo	mg/L	0.032	< 0,0004	Cumple	< 0,0002	Cumple	< 0,0002	Cumple	< 0,0002	Cumple	< 0,0002	Cumple
Estaño	mg/L	-	-	-	-	-	< 0,0005	-	< 0,0005	-	0,0014	-
Hierro	mg/L	0.3	0,27	Cumple	0,02	Cumple	0,02	Cumple	0,03	Cumple	0,48	No cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0,0013	Cumple	0,0007	Cumple	0,0025	Cumple	0,0036	Cumple	0,017	Cumple
Mercurio	mg/L	0.0002	< 0,0002	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple
Níquel	mg/L	0.025	< 0,002	Cumple	0,004	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple
Plata	mg/L	0.01	-	-	-	-	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple	< 0,0001	Cumple
Plomo	mg/L	0.001	< 0,001	Cumple	< 0,0005	Cumple	0,0008	Cumple	< 0,0005	Cumple	0,0022	No Cumple
Selenio	mg/L	0.001	-	-	-	-	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple	< 0,001	Cumple
Zinc	mg/L	0.03	< 0,01	Cumple	< 0,005	Cumple	0,006	Cumple	0,006	Cumple	0,009	Cumple
Temperatura in situ	(°C)	-	-	-	-	-	21,45	-	21,65	-	23,35	-
pH in situ	-	-	-	-	-	-	7,43	-	7,37	-	6,85	-
Conductividad in situ	(μS/cm)	-	-	-	-	-	29,65	-	10,05	-	15,30	-

Parámetro	Unidad	Criterio de Calidad*	MA-A-01	Cumple o no con la normativa	MA-A-02*	Cumple o no con la normativa	MA-A-02	Cumple o no con la normativa	MA-A-03	Cumple o no con la normativa	MA-A-04	Cumple o no con la normativa
Oxígeno Disuelto in situ	(mg/l)	-	-	-	-	-	7,44	-	7,74	-	7,87	-
% Saturación Oxígeno in situ	%	-	-	-	-	-	97,65	-	96,80	-	99,35	-
* Criterios de calidad de agua establecidos en la Tabla 2 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A (Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua)												
** Valores con acreditación del laboratorio, pero con un límite de cuantificación mayor al criterio de calidad de la norma, lo cual no permite verificar cumplimiento. Al respecto, es importante mencionar que el laboratorio Gruntec es actualmente el que tiene más parámetros acreditados para muestreo de agua y los rangos de acreditación se ajustan mejor a los valores criterios de calidad establecidos en la normativa ambiental vigente, lo cual se puede evidenciar en el Anexo E. 2. Componente Físico, documento 1. Acreditación Laboratorio. Además, se puede verificar los rangos y parámetros acreditados de otros laboratorios en la página web del Sistema de Acreditación Ecuatoriano https://sisac.acreditacion.gob.ec/accreditations/scopes-public?tab=%C3%81rea%20de%20Acreditaci%C3%B3n .												

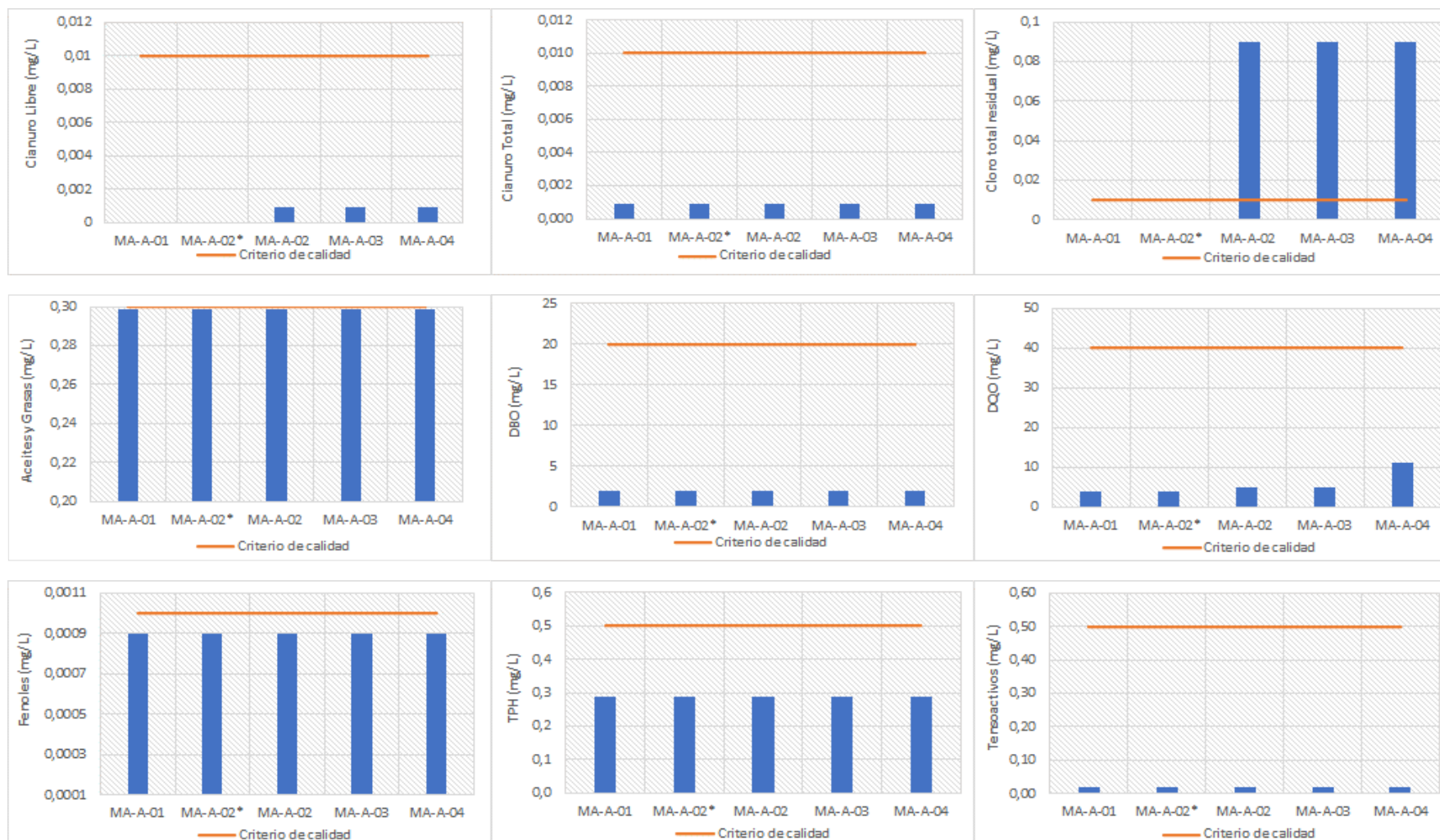
Fuente: Gruntec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-43 Resultados Muestras de Agua (pH, CE, OD, SST, Amonio, Nitrato, Nitrito)



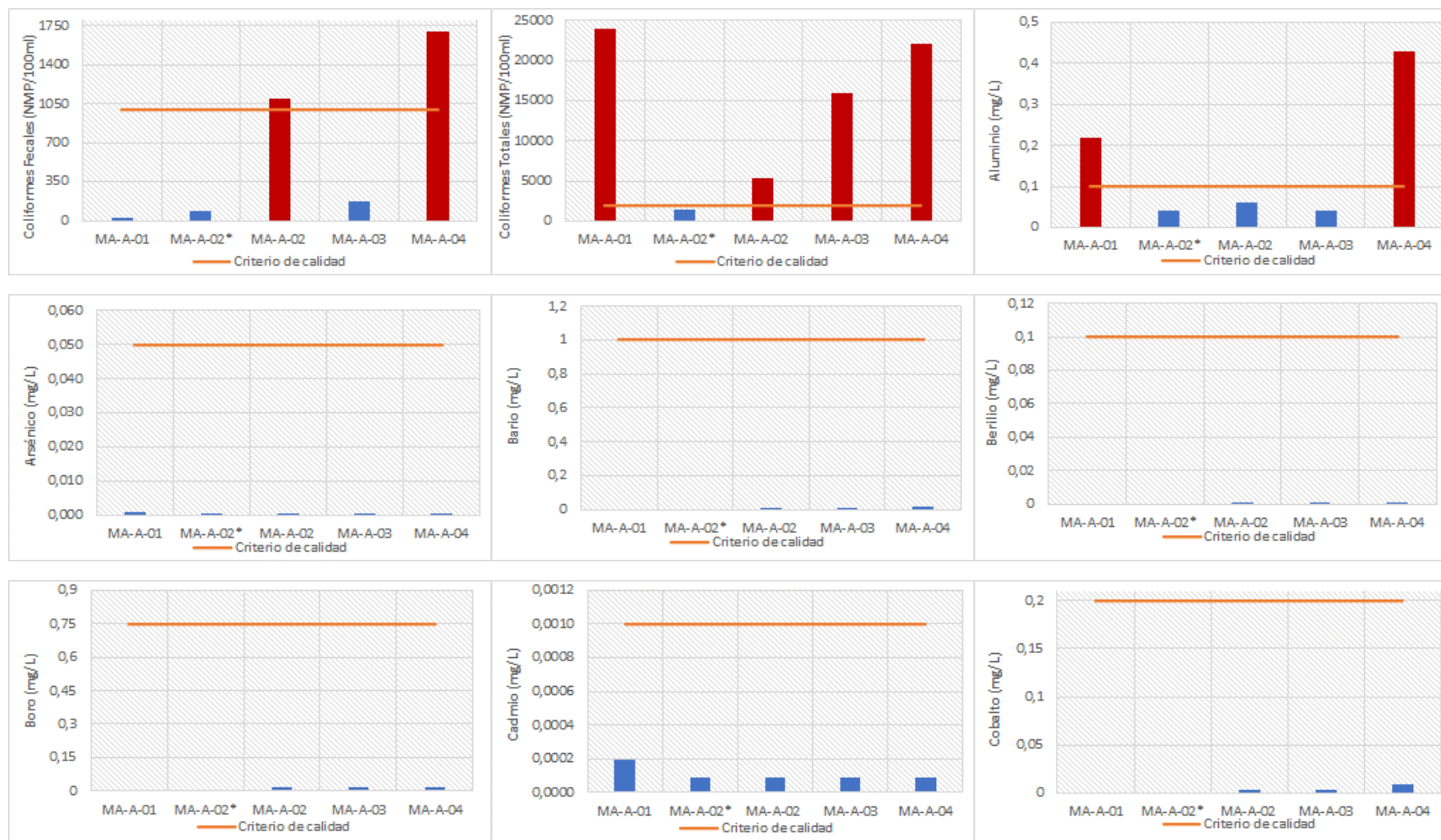
Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-44 Resultados Muestras de Agua (CN-, Cl, Aceites y grasas, DBO, DQO, Fenoles, TPH, Tensoactivos)



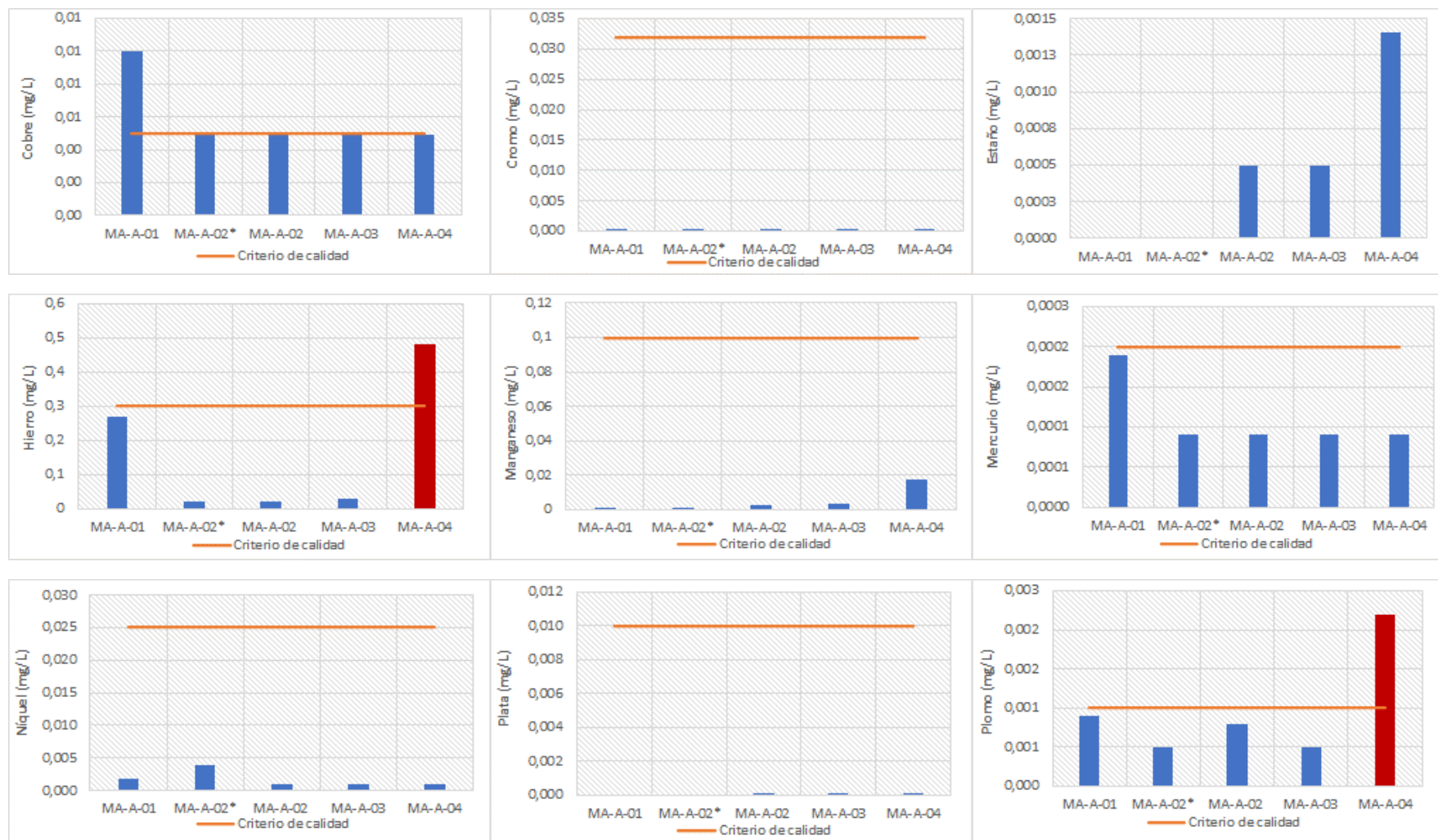
Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-45 Resultados Muestras de Agua (Coliformes, Al, As, Ba, Be, B, Cd, Co)



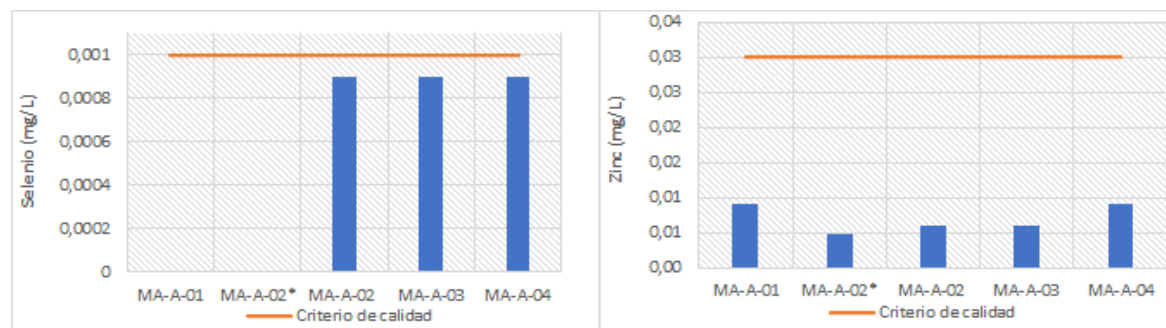
Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-46 Resultados Muestras de Agua (Cu, Cr, Sn, Fe, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb)



Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

Figura 7-47 Resultados Muestras de Agua (Se, Zn)



Fuente: Gruentec, 2018 & 2023 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2023

A continuación, se presenta un análisis general de los resultados de las muestras de calidad de agua registrados.

- Los cuerpos hídricos analizados presentan condiciones de pH neutro, en un rango comprendido entre 6,8 y 7,4, mismos que se encuentran acorde al criterio de calidad según lo señalado en la normativa ambiental analizada (6,5 a 9), a excepción de la muestra MA-A-01 cuyo pH es 6,1.
- La Conductividad Eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Los cuerpos hídricos analizados presentan una conductividad eléctrica entre 10 y 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el punto de muestreo MA-A-02 el que reporta el valor más alto.
- El Oxígeno Disuelto juega un papel importante en el agua debido a que es vital para la vida acuática y los microorganismos, requiriéndose una saturación de oxígeno mayor a 80% para el normal desarrollo de los organismos acuáticos. Con base a lo expuesto, la saturación de oxígeno en todos los cuerpos muestreados se encuentra dentro de los criterios de calidad.
- No se registró presencia de Materia Flotante y, los parámetros Sólidos Suspendidos Totales y Amonio no presentan concentraciones importantes.
- Los resultados de Cloro total residual y Cobre, en la muestra MA-A-01, presentan una limitación en cuanto a los valores registrados, si bien los mismos están acreditados ante el SAE por el laboratorio, poseen un límite de cuantificación mayor al criterio de calidad de la norma, lo cual no permite verificar si los resultados sobrepasan o no dicho estándar.
- Los parámetros Nitrato, Nitrito, Cianuro Libre, Cianuro Total, Aceites y grasas, DBO, DQO, Fenoles, TPH, Tensoactivos, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cadmio, Cobalto, Cromo, Estaño, Manganeseo, Mercurio, Níquel, Plata, Selenio y Zinc presentan concentraciones acordes a los criterios de calidad de agua para “Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas dulces”, en todas las muestras colectadas.
- En cuanto a los parámetros de Coliformes Fecales y Coliformes Totales, presentan valores que superan los criterios de calidad en la muestra MA-A-02 para coliformes fecales y en todas las muestras, excepto la MA-A-02*, para totales.
Es importante señalar que, si bien el valor de coliformes totales sobrepasa el LMP para uso recreacional del agua, este valor puede estar relacionado a la presencia de estas bacterias en el suelo y plantas del sitio por la descomposición de la materia orgánica. Es decir, pueden encontrarse en el medio ambiente de manera natural y no están relacionados con coliformes fecales que alteran la calidad del agua por contaminación con heces, excepto para la muestra MA-A-02, la cual se encuentra aguas abajo, previo a la salida de la concesión minera.
- Finalmente, en la muestra MA-A-04 los parámetros aluminio, hierro y plomo sobrepasan los criterios de calidad al igual que en la muestra MA-A-01 el parámetro aluminio.

En conclusión, debido a que la concesión se encuentra en un área de bosque donde no se identificó intervención o actividades humanas, dichas concentraciones deberán ser consideradas como valores de las condiciones actuales de los cuerpos hídricos analizados.

Los parámetros que no se encuentran dentro de los criterios de calidad pueden estar asociadas a las interacciones de flora y fauna propias de un entorno natural, así como, procesos de meteorización natural de rocas, entre otros.

7.1.9 NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El nivel de presión sonora o acústica, es un indicador utilizado para analizar los efectos causados por la propagación en el aire de una onda sonora de X intensidad, la cual impacta en las partículas del aire

generando un movimiento ondulatorio de las mismas, lo que provocara una variación en la presión del aire, que se superpondrá a la presión atmosférica; dando como resultado una onda sonora con una cantidad de energía x que al ingresar en el oído humano estimulara la sensación de oír, como respuesta al choque de presiones interna-externa. (Musiki, 2011)

Según el Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A el Nivel de Presión Sonora se define como diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y una ponderación temporal normalizadas.

La caracterización del nivel de presión sonora se realizó a través de un monitoreo del área de la concesión minera de acuerdo a lo señalado en el Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A “Niveles Máximos de Emisión de Ruido y Metodología de Medición para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles y Niveles Máximos de Vibración y Metodología de Medición”, en cuyo cuerpo legal se establece los métodos de monitoreo y tipos de niveles máximos de ruido.

Los monitoreos se realizaron de conformidad con los parámetros y procedimientos establecidos en la normativa mencionada, tomando registros en horarios diurnos y nocturnos.

Para el efecto se utilizó un sonómetro integrador clase II, marca 3M, modelo SoundPRO SE_DL2, en SLOW y en decibelios A, el micrófono del instrumento se ubicó a una altura entre 1,0 y 1,5 metros del suelo con un ángulo entre 45 y 90 grados. El sonómetro no estuvo expuesto a vibraciones mecánicas, colocándose una pantalla protectora en el micrófono para evitar la influencia del aire. El monitoreo fue realizado por un laboratorio acreditado por la SAE. (Anexo E.2. Documento 4)

El método utilizado para la toma de datos en campo fue el “Método de 15 segundos”, donde se reportó un mínimo de 5 mediciones en un intervalo de 15 segundos. Los datos a su vez fueron ingresados en una matriz que calcula logarítmicamente el Nivel de Presión Sonora Equivalente según la siguiente fórmula y flujo de cálculo, de acuerdo al procedimiento interno del laboratorio, mismo que cumple con el requerimiento de la normativa ambiental vigente. (Anexo E.2. Documento 1)

Los sitios de monitoreo fueron definidos considerando las áreas del proyecto minero, pero adicionalmente se consideró lo siguiente:

- Puntos Críticos de Afectación (receptores sensibles). Sitios o lugares, cercanos a una fuente fija de ruido del proyecto, ocupados por receptores sensibles (humanos, fauna, etc.) que requieren de condiciones de tranquilidad y serenidad. Dentro del área del proyecto no se registraron receptores sensibles humanos (viviendas, fincas, etc.)
- Actividades industriales adicionales, las cuales pueden generar ruidos propios de las actividades que desarrollan y que no son necesariamente parte del proyecto. Dentro del área del proyecto no se identificó actividad industrial adicional.

A continuación, se presenta la ubicación de los monitoreos de ruido, los mismos que se encuentran graficados en el Anexo B. Mapa 7.13.

Tabla 7-28 Ubicación de los Monitoreos de Ruido

Código	Tipo	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Fecha	Hora	Ubicación	Referencia
		X	Y				
MR-A-01(D)	Diurno	841111	9873767	25/01/2018	8:30	Concesión Alessia	Presencia de Bosque

Código	Tipo	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur		Fecha	Hora	Ubicación	Referencia
		X	Y				
MR-A-01(N)	Nocturno	841111	9873767	25/01/2018	21:05	Concesión Alessia	Presencia de Bosque
MR-A-02(D)	Diurno	842055	9874570	25/01/2018	9:50	Concesión Alessia	Presencia de Bosque
MR-A-02(N)	Nocturno	842055	9874570	25/01/2018	22:10	Concesión Alessia	Presencia de Bosque

Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

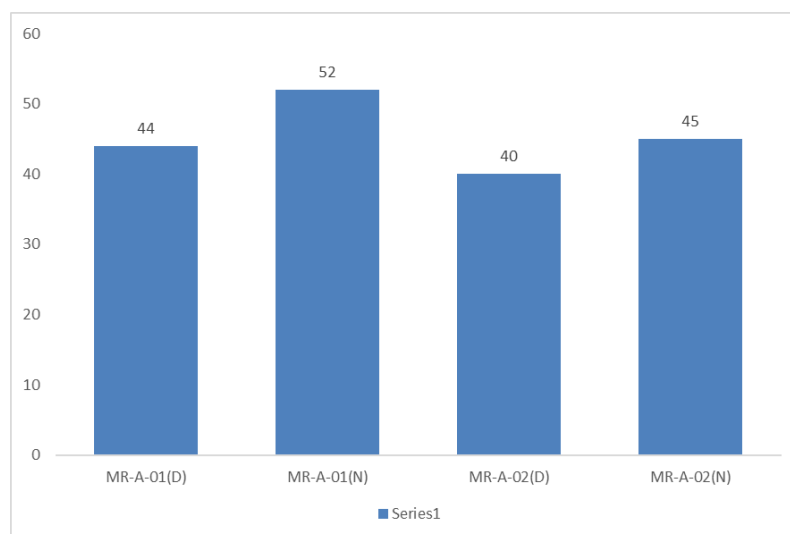
Considerándose que el área de estudio no presenta fuentes de ruido, el ruido registrado corresponde al ruido ambiental característico de la concesión minera, cuyos resultados se presentan a continuación. (Anexo E.2. Documento 4)

Tabla 7-29 Resultados de Monitoreo de Ruido Ambiental

Código de la Muestra	Coordenadas de Ubicación de Puntos de Muestreo (WGS84 Zona 17 Sur)		Fecha	Tipo Diurno/ Nocturno	Descripción del Sitio de Muestreo	Uso de Suelo	LA Max (dB)	LA Min (dB)	Ruido residual LAeq (dB)	Ruido Total LAeq (dB)
	X	Y								
MR-A-01(D)	841111	9873767	25/01/2018	Diurno	Presencia de Bosque	PE*	44	43	44	44
MR-A-01(N)	841111	9873767	25/01/2018	Nocturno	Presencia de Bosque	PE*	53	52	52	52
MR-A-02(D)	842055	9874570	25/01/2018	Diurno	Presencia de Bosque	PE*	40	39	40	40
MR-A-02(N)	842055	9874570	25/01/2018	Nocturno	Presencia de Bosque	PE*	45	45	45	45

*Tomado del Certificado de Uso de Suelo proporcionado por el GAD Municipal de Caros Julio Arosemena Tola (Anexo E.2. Documento 7)

Fuente: Gruentec, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Figura 7-48 Resultados Monitoreo de Ruido Ambiental


Fuente: Gruentec, 2018 / Elaboración: TREVOLL S. A., 2019

Se puede concluir que los valores del Nivel de Presión Sonora, presentados en la tabla anterior son típicos de áreas naturales con poca o nula influencia antrópica. Por lo cual dichos valores deberán ser considerados

como valores de Ruido Ambiental Existente, los cuales permitirán definir las áreas de influencia y a futuro realizar un monitoreo y evaluar el cumplimiento de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 1. Niveles Máximos de emisión de ruido, del Anexo 5 del Acuerdo Ministerial 097-A.

7.1.10 CALIDAD DE AIRE Y EMISIONES

Durante los trabajos de campo se pudo verificar que dentro y alrededor de la concesión minera no existen fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos (fijas o móviles) y/o actividades antrópicas que generen una alteración de la calidad del aire ambiente, registrándose además que el centro poblado más cercano se encuentra hacia el Este con más de 1 kilómetro de distancia desde la concesión minera, en consecuencia, se puede afirmar que el área del proyecto minero en la actualidad mantiene una calidad de aire ambiente natural o mínimamente alterada, con presencia de un bosque que regenera constantemente su condición.

En base a la información climática analizada, una emisión de contaminantes atmosféricos desde el área de la concesión minera, sería dispersada principalmente hacia el Oeste y Suroeste, por lo cual la probabilidad de afectación de la calidad de aire de los centros poblados, ubicados al Este y Norte, debido a las actividades del proyecto minero, es mínima.

La normativa ambiental vigente (Anexo 4 del Acuerdo Ministerial 097-A), establece los métodos de medición de concentraciones de contaminantes criterio del aire ambiente, no obstante, los laboratorios acreditados ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE), actualmente utilizan equipos e instrumentos que requieren tanto de vías de acceso para su transporte, como de conexión eléctrica para su funcionamiento, siendo estos los únicos métodos acreditados ante el SAE, ya que el método alternativo (método pasivo) aún no está acreditado ante dicha autoridad competente. Considerándose que dentro del área de la concesión minera no se cuenta con vías de acceso que permitan el ingreso de los equipos de monitoreo, que además no se cuentan con instalaciones eléctricas que permitan conectar dichos equipos, que los métodos analíticos para el monitoreo de la calidad del aire ambiente planteados dentro de la normativa ambiental vigente no están disponibles en el país con equipos portátiles para campo, no se ha podido realizar el monitoreo de calidad de aire en el área de la concesión minera. Por lo cual dentro del Estudio de Impacto Ambiental y específicamente dentro del Plan de Monitoreo se establece realizar los monitoreos de Calidad de Aire Ambiente considerándose estas limitaciones.

Los criterios de selección de los puntos de muestreo de calidad de aire en el Plan de Monitoreo considerarán lo siguiente: asentamientos humanos que se encuentren dentro de la concesión (no existe), área donde se va a implementar la infraestructura, condiciones climáticas, y además los que se considere representativos técnicamente.

PAGINA EN BLANCO