

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES
MINERAS: “BENEFICIO, FUNDICIÓN Y REFINACIÓN DE
MINERALES METÁLICOS EN PLANTA DE BENEFICIO CAYO
GOLD (CÓDIGO 30000443), UBICADA EN EL SECTOR EL
PACHE, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO”**

CAPÍTULO 3. DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LÍNEA BASE

PROMOTOR:



ELABORADO POR:

ENERMILL CIA LTDA/TAIAO
MAATE-SUIA-0167-CC



PORTOVELO

MARZO 2026

ÍNDICE

3	DESCRIPCIÓN DE LÍNEA BASE AMBIENTAL.....	1
3.1	Medio Físico.....	1
3.1.1	Clima.....	1
3.1.2	Aire.....	22
3.1.3	Geología.....	29
3.1.4	Hidrogeología.....	43
3.1.5	Geomorfología.....	45
3.1.6	Edafología.....	50
3.1.7	Hidrología y calidad del agua.....	63
3.1.8	Conclusiones.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1	Ubicación geográfica de la estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.....	2
Tabla 3-2	Temperatura media anual (°C) Estación Zaruma.....	3
Tabla 3-3	Temperatura media mensual (°C) Estación Zaruma.....	4
Tabla 3-4	Precipitación media anual (mm) Estación Zaruma.....	7
Tabla 3-5	Precipitación media mensual (°C) Estación Zaruma.....	8
Tabla 3-6	Humedad relativa media anual (%) Estación Zaruma.....	11
Tabla 3-7	Humedad relativa media mensual (°C) Estación Zaruma.....	12
Tabla 3-8	Nubosidad media anual (octas) Estación Zaruma.....	13
Tabla 3-9	Nubosidad media mensual (octas) Estación Zaruma.....	14
Tabla 3-10	Velocidad del viento media anual (m/s) Estación Zaruma.....	16
Tabla 3-11	Velocidad del viento media mensual (m/s) Estación Zaruma.....	17
Tabla 3-12	Dirección del viento media mensual Estación Zaruma.....	17
Tabla 3-13	Evapotranspiración (mm) Estación Zaruma.....	19
Tabla 3-14	Resultados del monitoreo respecto del ruido ambiental externo / condiciones climáticas en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).....	23
Tabla 3-15	Resultados del monitoreo respecto del material particulado en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).....	27
Tabla 3-16	Resultados del monitoreo respecto de la calidad del suelo en instalaciones de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).....	57
Tabla 3-17	Metales pesados de función biológica conocida que incumplen la normativa ambiental vigente, ubicados en la zona de relavera temporal de Cayo Gold (cód. 30000443). 61	



Tabla 3-18 Metales pesados de función biológica no conocida que incumplen la normativa ambiental vigente, ubicados en la zona de relavera temporal de Cayo Gold (cód. 30000443).	62
Tabla 3-19 Demarcación y Unidades Hidrográficas del proyecto	66
Tabla 3-20 Resultados del monitoreo respecto de la calidad hídrica en el río Calera en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443)	70
Tabla 3-21 Parámetros fuera de norma de acuerdo a los resultados de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002	71
Tabla 3-22 DBO y DQO de acuerdo al resultado de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Polígono de Thiessen	1
Figura 3-2 Temperatura media anual (°C) Estación Zaruma	4
Figura 3-3 Temperatura media mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro....	5
Figura 3-4 Precipitación media anual (mm) Estación Zaruma.....	7
Figura 3-5 Variación de precipitación mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.....	9
Figura 3-6 Humedad relativa anual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.	11
Figura 3-7 Humedad relativa mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.	13
Figura 3-8 Nubosidad media anual (octas) Estación Zaruma	14
Figura 3-9 Nubosidad media mensual (octas), estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.....	15
Figura 3-10 Velocidad del viento media anual (m/s) Estación Zaruma.....	16
Figura 3-11 Velocidad del viento mensual (m/s), estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.....	17
Figura 3-12 Rosa de los vientos, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.	18
Figura 3-13. Evapotranspiración promedio anual - Estación Zaruma	19
Figura 3-14 Contexto geodinámico del Ecuador	32
Figura 3-15 Estructuras geológicas – tipos de fallas	33
Figura 3-16 Zona de implantación Planta de Beneficio.....	36
Figura 3-17 Fuentes sísmicas de interfaz	39
Figura 3-18 Fuentes sísmicas corticales	40
Figura 3-19 Fuentes sísmicas de slab	40
Figura 3-20 Evidencias Tipos de suelos área de estudio	42
Figura 3-21 Evidencias llanura de inundación Planta Cayo Gold	48
Figura 3-22 Actividades desarrolladas en el sector El Pache, Portovelo.....	52
Figura 3-23 Plantas de beneficio colindantes.	52
Figura 3-24 Tránsito vehicular.....	52
Figura 3-25 Río Calera en época invernal.....	64
Figura 3-26 Río Calera en época de verano.	64
Figura 3-27 Río Amarillo en época de verano.	65



Mapa 3-1. Rango de temperatura en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	6
Mapa 3-2 Rango de precipitación en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).....	10
Mapa 3-3 Tipos de Clima planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	21
Mapa 3-4 Referenciación del punto de monitoreo del parámetro: ruido ambiente externo en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	25
Mapa 3-5 Referenciación del punto de monitoreo del parámetro: PM _{2,5} y PM ₁₀ en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	28
Mapa 3-6 Geología Regional área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	31
Mapa 3-7 Mapa de fallas área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	35
Mapa 3-8 Geología Regional área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	37
Mapa 3-9 Hidrogeología en el área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	44
Mapa 3-10 Rango de Pendientes en el área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	46
Mapa 3-11 Modelo Digital de Elevación en el área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	47
Mapa 3-12 Características geomorfológicas sobre la superficie ocupada por planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	49
Mapa 3-13 Características edafológicas en área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	51
Mapa 3-14 Cobertura vegetal y uso actual de suelo en área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	54
Mapa 3-15 Referenciación del punto de monitoreo calidad del suelo en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	56
Mapa 3-16 Caracterización hidrográfica área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	67
Mapa 3-17 Referenciación del punto de monitoreo a la calidad del agua en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).	69

3 DESCRIPCIÓN DE LÍNEA BASE AMBIENTAL

Planta de beneficio Cayo Gold código 30000443 se encuentra situada en el Distrito Minero Zaruma - Portovelo, sector El Pache, cantón Portovelo, provincia de El Oro. La caracterización ambiental, basada en el documento: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019 - 2023, presenta la descripción de la situación actual del área de influencia en dónde está emplazada la actividad minera.

3.1 MEDIO FÍSICO

3.1.1 Clima

Con la finalidad de establecer el diagnóstico climático fue necesario realizar un análisis general de sus factores, esto es, las características físicas de la superficie terrestre, tales como: latitud, longitud, elevación, relieve, disponibilidad y confiabilidad de la información, además de otros elementos como: régimen hídrico, variabilidad térmica, distancia de las estaciones sobre el área en estudio. En este caso, se analizaron variables como: precipitación, temperatura, humedad relativa nubosidad y velocidad de los vientos procedentes de la estación climatológica Zaruma (perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI). No se consideraron parámetros como evaporación y heliofanía, dado que no presentaban información para ninguno de los años evaluados.

3.1.1.1 Análisis de Homogeneidad y Representatividad Climática

Para la caracterización meteorológica del área de implantación, se seleccionó la estación **Zaruma (M0180)**. La validez técnica de la extrapolación de datos se sustenta en la convergencia de criterios espaciales y climáticos detallados a continuación:

- **Delimitación por Polígonos de Thiessen:** Mediante el método de interpolación de polígonos de Thiessen, se determinó el área de influencia de las estaciones meteorológicas circundantes (Zaruma, El Salado-Predesur, Capiro y Piñas). El análisis espacial confirma que la Planta de Beneficio Cayo Gold se encuentra íntegramente dentro de la unidad geométrica correspondiente a la estación **Zaruma**, lo que ratifica su representatividad técnica por proximidad y dominio territorial.

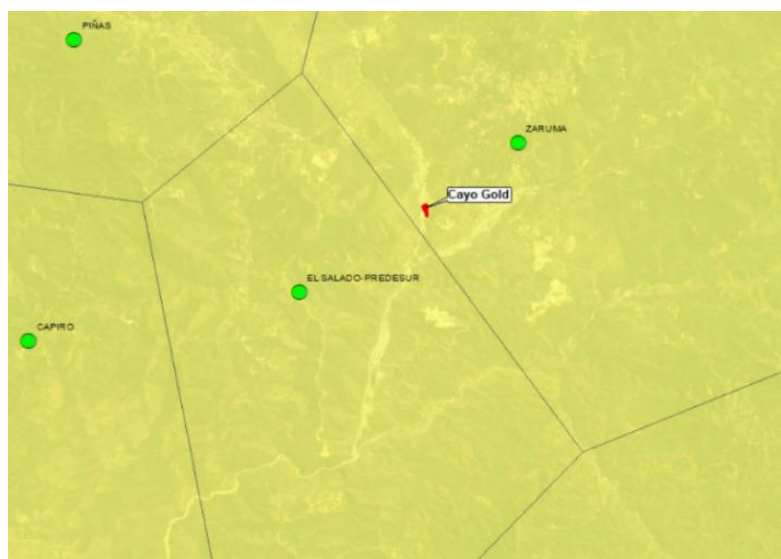


Figura 3-1 Polígono de Thiessen

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

- **Rango Térmico (Isotermas):** Ambas ubicaciones se circunscriben en la franja de isothermas de **20°C a 24°C**. La temperatura media anual registrada por la estación (21.5°C) es representativa de la planta, considerando un ajuste por gradiente térmico debido a la diferencia altitudinal (aprox. 650 msnm), lo cual se detalla en el *Capítulo 3.1.2: Geología y Geomorfología*.
- **Régimen Pluviométrico (Isoyetas):** El emplazamiento y la estación comparten el rango de isoyetas de **1,250 mm a 1,500 mm**. El régimen es monomodal típico de las estribaciones occidentales, con un periodo húmedo (enero-mayo) y seco (junio-diciembre), esencial para el diseño de las obras de drenaje descritas en el *Capítulo 1: Descripción del Proyecto*.
- **Piso Bioclimático y Clasificación:** El sitio se clasifica como **Piemontano**, bajo un clima **Mesotermico - Semicálido**. Esta homogeneidad ecológica garantiza que los parámetros de humedad relativa y evapotranspiración de la estación M0180 sean aplicables para la evaluación de la dispersión de contaminantes (INAMHI, 2024).

Conclusión Técnica: La coincidencia en los rangos de isothermas e isoyetas, sumada a la validación espacial mediante Polígonos de Thiessen y la pertenencia al mismo piso bioclimático, otorga a los datos de la estación Zaruma la robustez técnica necesaria para el presente Diagnóstico Ambiental, cumpliendo con los estándares de representatividad exigidos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2023).

Los presentes datos fueron tomados para un periodo de 10 años (datos referenciales 2008 - 2017). El INAMHI mediante correo electrónico enviado el 6 de mayo del año en curso ratifica “*que remite los datos mensuales requeridos de acuerdo con su disponibilidad actual, Y ES LA ÚNICA INFORMACIÓN EN BASE¹*” por lo que el presente análisis presenta únicamente información de los años antes citados.

Tabla 3-1 Ubicación geográfica de la estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

Código	Nombre	Tipo	Zona hidro	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM WGS84 17S	Altitud (m)	Distancia hacia la planta
M0180	Zaruma	CO	200	Latitud 3° 41' 56"S Longitud 79° 36' 41"W	653,967.12 9,590,666.37	1100	2,59 km aprox.

Fuente: (INAMHI, 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Los datos climáticos en análisis, se los obtiene de estaciones meteorológicas Landshuter et al. (2020) que en ocasiones muestran datos faltantes, los cuales se llenan a través de valores promedios de otros años.

Con este antecedente y con la finalidad de completar datos faltantes se aplicó el *método de imputación de la media* (media simple) o método de sustitución consistente en agrupar los valores no observados en clases e imputar los valores faltantes por la media de los valores observados en la misma clase.² Es decir se establece un promedio de un número fijo a través de los valores vecinos. Se determina así:

$$X_{(imp)j} = \frac{\sum_{i=1}^r X_{i(obs)j}}{r}$$

² Imputación de datos faltantes en un Sistema de Información sobre conductas de riesgo, Universidad de la Coruña, 2011.

Siendo $X_{(impj)}$ el valor que se coloca, o “imputa”, en la variable con datos faltantes.

Para las variables con más del 10% de valores faltantes se aplicó el método de imputación hot-deck consistente en imputar el valor no observado x_{ij} de una variable X_j para el caso o individuo i mediante el valor que esa variable toma en otro caso semejante a él, escogido de entre aquellos para los que se dispone de valores de X_j (Bailar y Bailar, 1978, 1983; Ford, 1983; Little y Rubin, 1976; Rubin, 1987; Sande, 1983). Este algoritmo busca los k valores más cercanos (donde k es un número entero, como 2, 3, o 10 por ejemplo) y reemplaza el valor faltante con el promedio de estos vecinos.

3.1.1.2 Temperatura

Análisis Anual

El registro histórico de la temperatura en la Estación Zaruma durante el decenio 2008-2017 demuestra un comportamiento térmico altamente estable, característico de su ubicación geográfica. La temperatura promedio anual se mantuvo en un rango estrecho entre 21,3 °C (mínimo histórico en 2008) y 22,9 °C (máximo histórico en 2016). Esta oscilación de apenas 1,6 °C a lo largo de diez años confirma la ausencia de anomalías térmicas severas en la zona del proyecto Cayo Gold.

Respecto a los valores extremos, se observa que las temperaturas mínimas anuales han fluctuado entre los 20,2 °C y los 22,6 °C, mientras que las máximas anuales han alcanzado picos de hasta 23,8 °C (registrado en el año 2015). Es importante destacar que, con la integración de los datos para los años 2012 y 2013, la serie histórica muestra una continuidad técnica sin saltos abruptos, manteniendo una media constante de 22,1 °C en dicho bienio. Esta homogeneidad en los datos del INAMHI permite prever condiciones climáticas moderadas y consistentes para la planificación y ejecución de las actividades operativas.

Tabla 3-2 Temperatura media anual (°C) Estación Zaruma

Temperatura Promedio (°C)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Año	Fuente
20,2	21,3	22,5	enero - diciembre / 2008	INAMHI
20,6	22,1	23,6	enero - diciembre / 2009	INAMHI
21,8	22,3	22,9	enero - diciembre / 2010	INAMHI
20,9	21,5	22,1	enero - diciembre / 2011	INAMHI
21,4	22,1	22,9	enero - diciembre / 2012	INAMHI
21,4	22,1	22,9	enero - diciembre / 2013	INAMHI
21	22,0	22,7	enero - diciembre / 2014	INAMHI
21,5	22,5	23,8	enero - diciembre / 2015	INAMHI
22,6	22,9	23,1	enero - diciembre / 2016	INAMHI
21,5	22,0	22,7	enero - diciembre / 2017	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

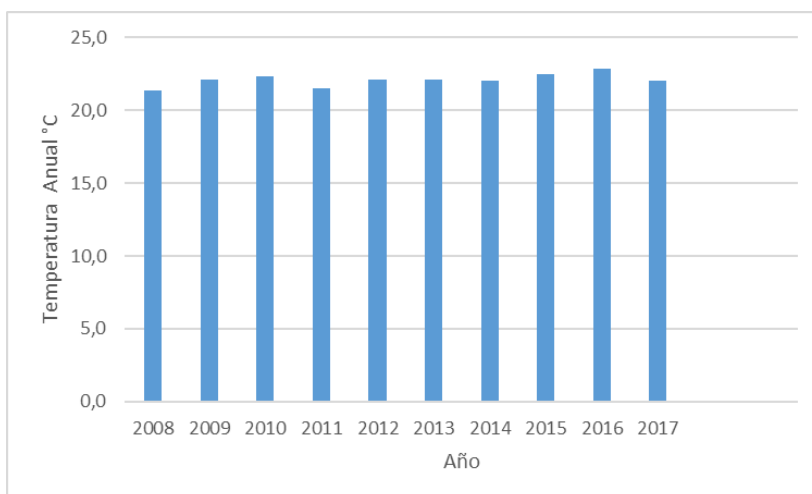


Figura 3-2 Temperatura media anual (°C) Estación Zaruma

Fuente: Anuario meteorológico (INAMHI, 2017)

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Análisis Mensual

Al examinar la distribución de la temperatura a lo largo de los meses del año (promediada entre 2008 y 2017), se observa un régimen térmico homogéneo con ligeros incrementos hacia el último cuatrimestre del año. Las temperaturas medias mensuales fluctúan entre un mínimo de 21,5 °C en enero y un máximo de 22,7 °C en septiembre y octubre. Esta diferencia de apenas 1,2 °C entre el mes más cálido y el menos cálido confirma la ausencia de estaciones térmicas marcadas, manteniendo condiciones templadas constantes.

El análisis de los extremos mensuales revela que el mes de diciembre presenta la temperatura máxima más alta del registro con 23,8 °C, mientras que el valor mínimo más bajo ocurre en enero con 20,2 °C. A pesar de estas fluctuaciones, los valores mínimos mensuales se mantienen mayoritariamente por encima de los 21 °C a partir de marzo, lo que favorece un entorno climático estable para las operaciones del proyecto durante todo el año. La fuente de estos datos, validada por el Anuario Meteorológico del INAMHI, garantiza la representatividad estadística necesaria para la planificación ambiental de Cayo Gold.

Tabla 3-3 Temperatura media mensual (°C) Estación Zaruma

Temperatura Promedio (°C)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
20,2	21,5	23,10	2008 - 2017 / Enero	INAMHI
20,7	21,7	22,9	2008 - 2017 / Febrero	INAMHI
21,4	21,9	22,8	2008 - 2017 / Marzo	INAMHI
21,4	22,1	22,9	2008 - 2017 / Abril	INAMHI
21,3	22,1	22,9	2008 - 2017 / Mayo	INAMHI
20,9	21,8	22,9	2008 - 2017 / Junio	INAMHI
20,8	21,9	22,9	2008 - 2017 / Julio	INAMHI
21,5	22,1	22,9	2008 - 2017 / Agosto	INAMHI
22,1	22,7	23,2	2008 - 2017 / Septiembre	INAMHI

Temperatura Promedio (°C)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
21,8	22,7	23,6	2008 - 2017 / Octubre	INAMHI
21,6	22,5	23,3	2008 - 2017 / Noviembre	INAMHI
20,9	22,2	23,8	2008 - 2017 / Diciembre	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

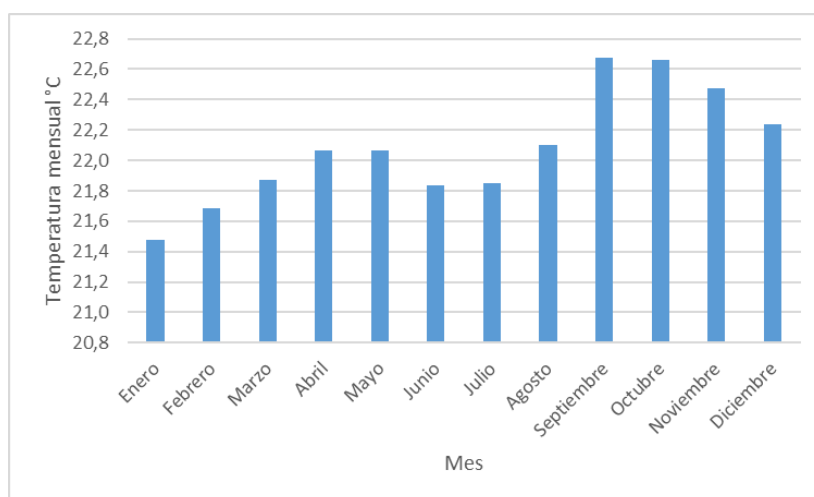


Figura 3-3 Temperatura media mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

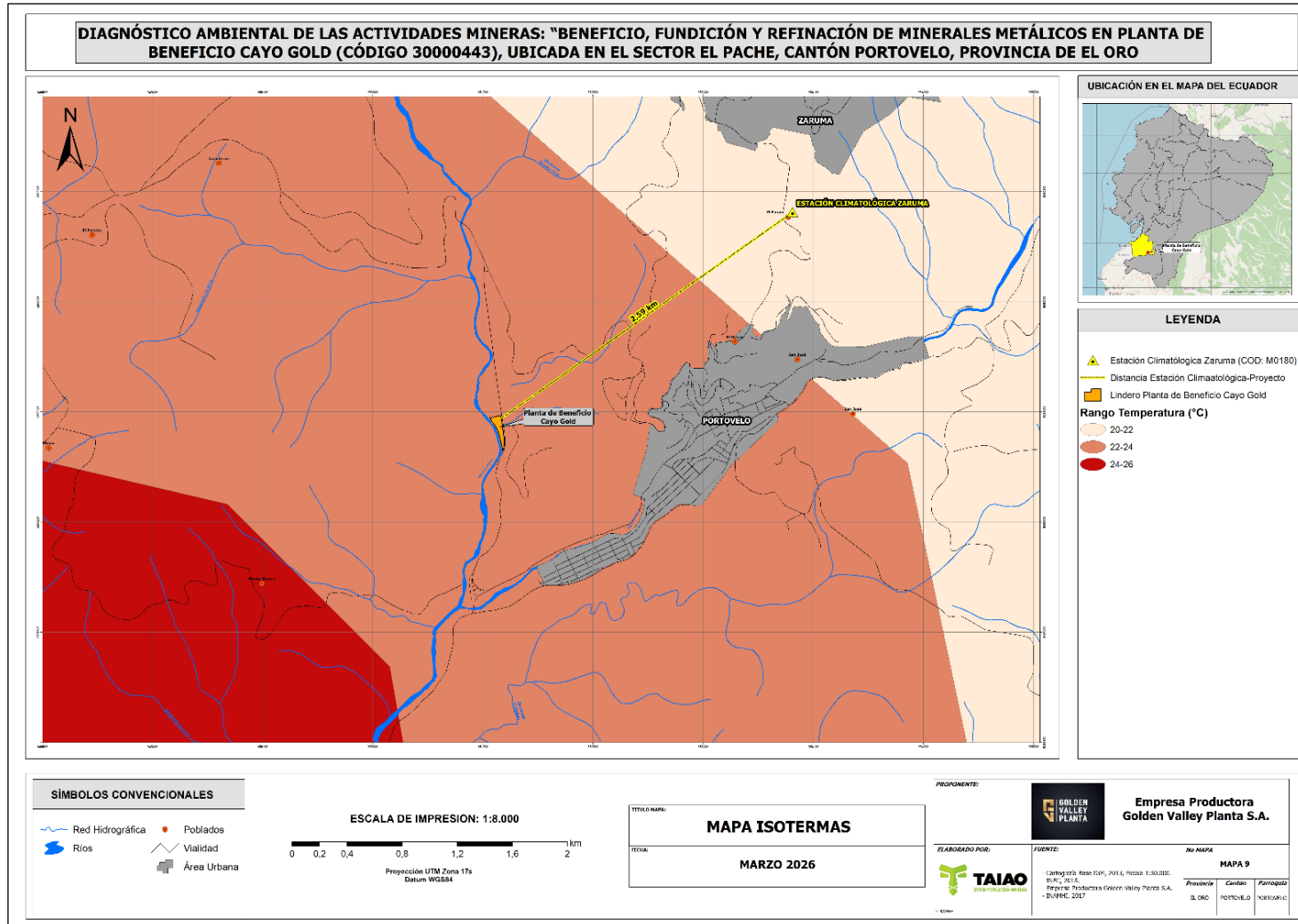
Fuente: Anuario meteorológico (INAMHI, 2017)

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.1.3 Análisis de Isotermas

El análisis de isotermas se fundamenta en la cartografía técnica del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y el proyecto SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Especialmente, el área de implantación de la Planta de Beneficio Cayo Gold se sitúa en una franja de transición térmica delimitada por las isotermas anuales de 22°C y 24°C, las cuales presentan una configuración aproximadamente paralela a las curvas de nivel que definen el relieve escarpado de la cuenca del Río Calera.

Esta disposición cartográfica evidencia la influencia directa de la altitud sobre la temperatura media regional, donde la isoterma de 22°C se asocia a las estribaciones superiores que rodean al cantón Portovelo, mientras que la isoterma de 24°C se proyecta hacia las zonas de menor cota en el sector El Pache. Esta zonificación técnica es consistente con el comportamiento meteorológico observado en la zona, permitiendo validar la representatividad de la estación de referencia (Zaruma) y asegurar que las estimaciones térmicas aplicadas al diagnóstico reflejen fielmente la dinámica climática del entorno operativo del proyecto como se puede ver en el mapa a continuación:



Mapa 3-1. Rango de temperatura en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.1.4 Precipitación

Análisis anual

El análisis pluviométrico anual en la estación Zaruma para el periodo 2008-2017 revela una alta variabilidad en los volúmenes de lluvia acumulados. La **precipitación promedio anual** oscila entre los **1536,5 mm (2010)** y un máximo de **2132,9 mm (2017)**. Esta diferencia significativa de casi 600 mm entre años indica que la zona está sujeta a ciclos húmedos y secos que deben ser considerados en el diseño de los sistemas de drenaje y manejo de aguas del proyecto Cayo Gold.

En cuanto a los valores extremos anuales, destaca el año 2017 con un mínimo registrado de **0,2 mm**, mientras que el valor máximo más alto de la serie se presentó en 2008 con **479,6 mm**. Estas cifras subrayan un régimen de lluvias irregular, donde años con promedios totales similares pueden presentar intensidades máximas muy distintas, lo que sugiere la influencia de fenómenos climáticos regionales sobre la estación.

Tabla 3-4 Precipitación media anual (mm) Estación Zaruma

Precipitación (mm/año)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Año	Fuente
6,9	155,1	479,6	enero - diciembre / 2008	INAMHI
1,7	130,4	359,9	enero - diciembre / 2009	INAMHI
5,3	128,0	423,7	enero - diciembre / 2010	INAMHI
1,4	130,8	330,3	enero - diciembre / 2011	INAMHI
62,6	143,4	396,1	enero - diciembre / 2012	INAMHI
62,6	140,3	396,1	enero - diciembre / 2013	INAMHI
1,1	138,2	439,5	enero - diciembre / 2014	INAMHI
0,8	136,1	438,7	enero - diciembre / 2015	INAMHI
105,5	154,3	312,8	enero - diciembre / 2016	INAMHI
0,2	177,7	384,3	enero - diciembre / 2017	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

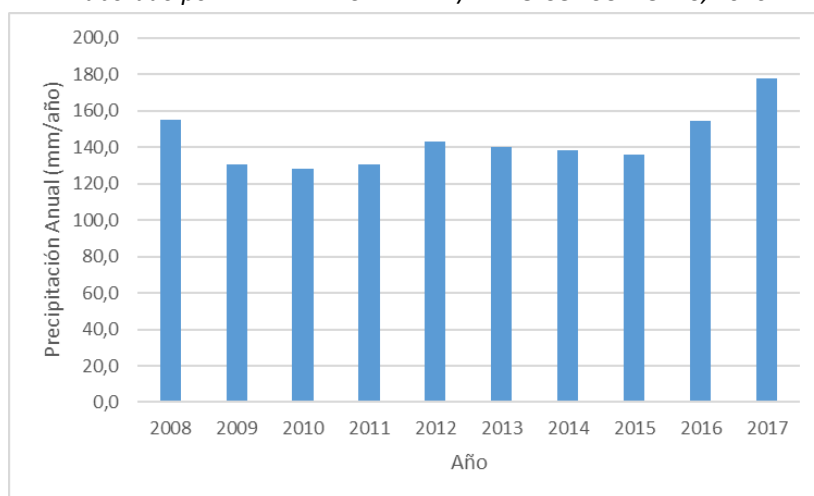


Figura 3-4 Precipitación media anual (mm) Estación Zaruma

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Análisis mensual

La distribución mensual de las lluvias permite identificar con claridad dos periodos estacionales bien definidos: una **época lluviosa** y una **época seca** (o estiaje). La temporada de mayores precipitaciones se concentra entre los meses de enero y mayo, alcanzando su pico máximo en **marzo con un promedio de 327,7 mm**. Durante este periodo, las lluvias son intensas y frecuentes, lo que representa la mayor carga hídrica para la zona.

Por el contrario, a partir de junio se observa una transición hacia la época seca, la cual se extiende hasta noviembre. El mes con menor actividad pluvial es **septiembre, con un promedio de apenas 30,7 mm**. Es notable que, durante los meses de julio, agosto y septiembre, los valores mínimos de precipitación llegan a caer cerca de **0,80 mm**, confirmando la posibilidad de periodos de sequía estacional severa. Esta marcada estacionalidad es un factor crítico para la planificación operativa, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de recurso hídrico y la estabilidad de taludes durante los meses de alta pluviosidad.

Tabla 3-5 Precipitación media mensual (°C) Estación Zaruma

Precipitación (mm/año)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
209,20	291,6	384,30	2008 - 2017 / Enero	INAMHI
153,10	282,4	384,30	2008 - 2017 / Febrero	INAMHI
192,20	327,7	439,50	2008 - 2017 / Marzo	INAMHI
36,90	271,6	479,60	2008 - 2017 / Abril	INAMHI
34,60	180,3	375,30	2008 - 2017 / Mayo	INAMHI
8,20	49,4	138,30	2008 - 2017 / Junio	INAMHI
0,20	39,1	138,30	2008 - 2017 / Julio	INAMHI
1,10	36,3	138,30	2008 - 2017 / Agosto	INAMHI
0,80	30,7	138,30	2008 - 2017 / Septiembre	INAMHI
2,80	49,9	105,50	2008 - 2017 / Octubre	INAMHI
3,90	41,9	105,50	2008 - 2017 / Noviembre	INAMHI
51,30	124,4	206,60	2008 - 2017 / Diciembre	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

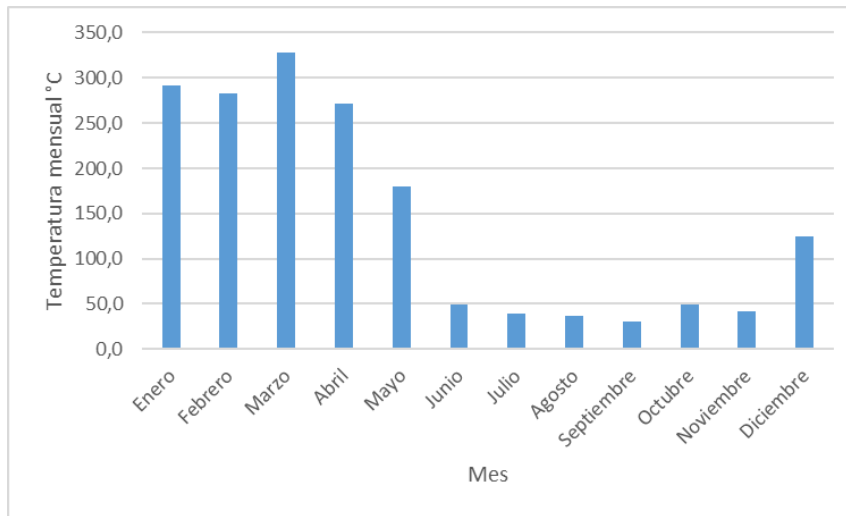


Figura 3-5 Variación de precipitación mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

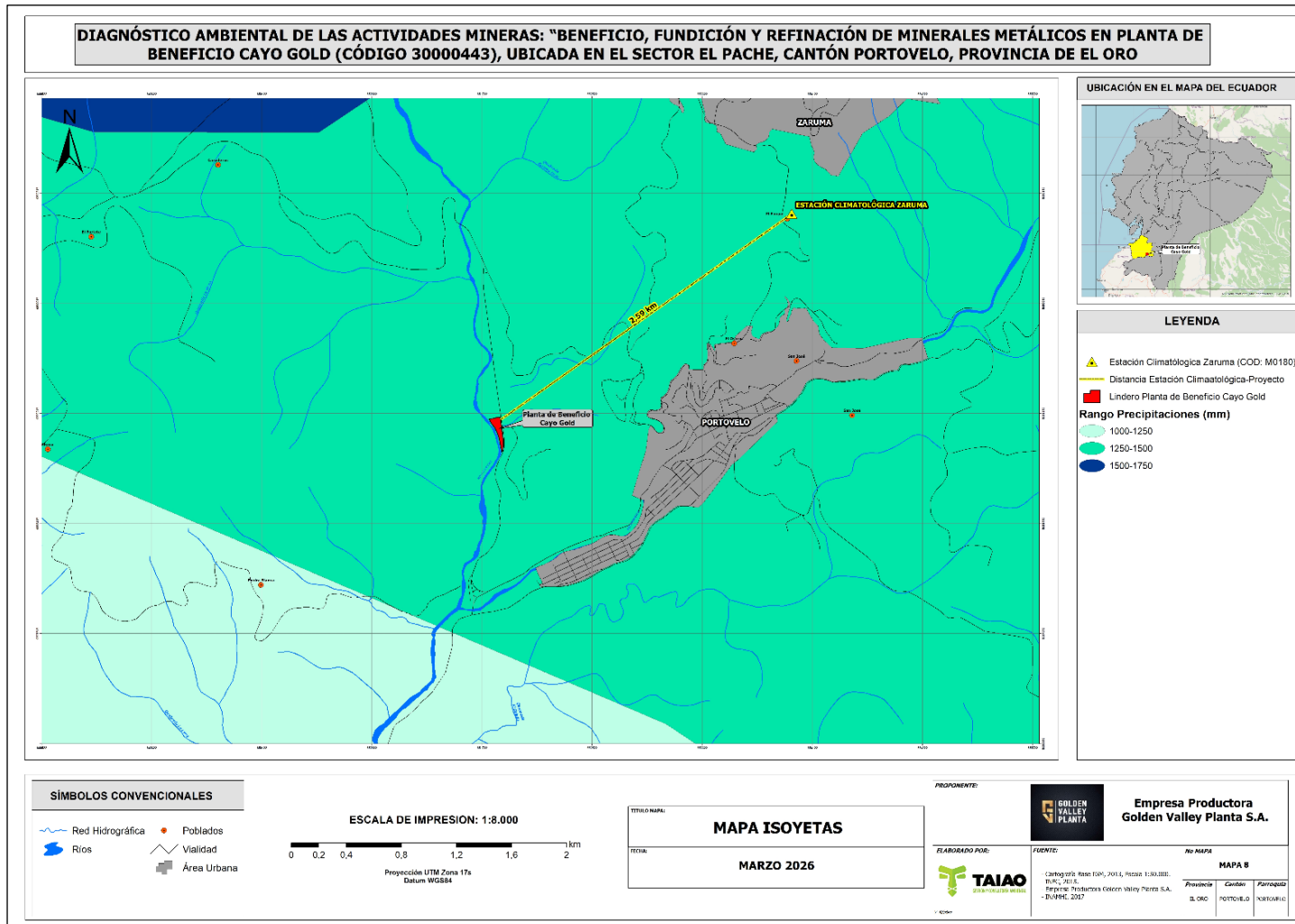
Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026.

3.1.1.5 Análisis de Isoyetas

El análisis espacial de la pluviosidad mediante el método de isoyetas anuales determina que la Planta de Beneficio Cayo Gold se localiza íntegramente dentro de una franja de precipitación que oscila entre los **1250 mm y 1500 mm**. Esta distribución cartográfica es coherente con el relieve de la cuenca media del Río Calera, donde las masas de aire húmedo provenientes de la región litoral son forzadas a ascender por la orografía de las estribaciones occidentales, generando lluvias de carácter orográfico.

La validez técnica de este rango se ratifica mediante la aplicación de **Polígonos de Thiessen**, los cuales posicionan al proyecto bajo el área de influencia directa de la estación climatológica Zaruma (M0180). La representatividad espacial se fundamenta en la mínima distancia lineal existente entre el proyecto y la estación de referencia (2,59 km), así como en la homogeneidad de las condiciones climáticas regionales. Esta correspondencia técnica permite asegurar que los registros de intensidad y frecuencia de lluvia analizados en el apartado anterior son directamente aplicables para el diseño de las obras de captación pluvial y sistemas de seguridad de la planta, mitigando el riesgo de desbordamientos accidentales de efluentes industriales durante eventos hidrometeorológicos extremos como se puede ver en el mapa a continuación:



Mapa 3-2 Rango de precipitación en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).
Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026.

3.1.1.6 Humedad relativa

Análisis Anual

Los registros de humedad relativa en la estación Zaruma entre 2008 y 2017 reflejan un ambiente persistentemente húmedo, con promedios anuales que oscilan entre el 85% y el 89%. Esta estabilidad es notable, ya que incluso en los años con registros más bajos (como 2011 con un 85%), el aire mantiene un alto contenido de vapor de agua. El pico máximo de humedad promedio se registró en el año 2010 con un 89%, coincidiendo con un periodo de alta estabilidad térmica en la zona.

En cuanto a las fluctuaciones extremas anuales, las humedades mínimas no suelen descender del 77% (valor registrado en 2011), mientras que los techos de saturación alcanzan hasta un 95% (valor máximo en 2010). Esta reducida amplitud entre mínimos y máximos anuales sugiere que la zona de influencia del proyecto posee un microclima con poca influencia de masas de aire seco, manteniendo condiciones de humedad ambiental elevadas de forma constante durante todo el decenio analizado.

Tabla 3-6 Humedad relativa media anual (%) Estación Zaruma

Humedad %				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Año	Fuente
83	88	92	enero - diciembre / 2008	INAMHI
82	87	91	enero - diciembre / 2009	INAMHI
81	89	95	enero - diciembre / 2010	INAMHI
77	85	91	enero - diciembre / 2011	INAMHI
84	87	92	enero - diciembre / 2012	INAMHI
84	87	92	enero - diciembre / 2013	INAMHI
83	88	92	enero - diciembre / 2014	INAMHI
82	86	92	enero - diciembre / 2015	INAMHI
86	87	90	enero - diciembre / 2016	INAMHI
83	87	91	enero - diciembre / 2017	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

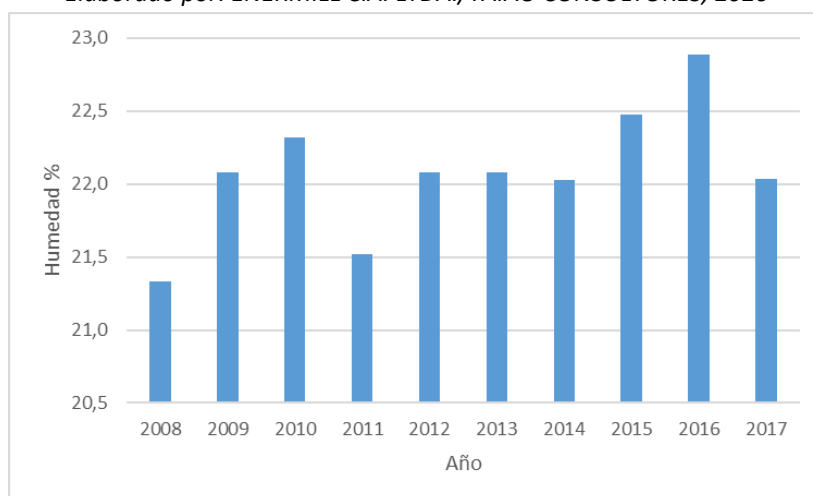


Figura 3-6 Humedad relativa anual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Análisis Mensual

La distribución mensual de la humedad relativa muestra una correlación directa con el régimen de precipitaciones de la zona. Se identifican niveles críticos de saturación durante el primer semestre del año (época lluviosa), alcanzando su punto máximo en enero con un promedio del 91%. Entre enero y mayo, la humedad relativa no desciende del 90%, lo que genera una sensación de bochorno y favorece procesos de condensación.

A partir de agosto, se observa un descenso gradual en los niveles de humedad, alcanzando sus valores mínimos mensuales en septiembre y octubre con un 83%. A pesar de ser los meses "más secos" del año, una humedad del 83% sigue considerándose alta en términos técnicos. Los valores mínimos absolutos mensuales llegan al 77% en octubre, lo que representa el momento de mayor sequedad relativa del aire. Esta información es crucial para el proyecto, ya que niveles superiores al 80% de forma sostenida pueden acelerar la oxidación de maquinaria y estructuras metálicas si no se aplican tratamientos preventivos.

Tabla 3-7 Humedad relativa media mensual (°C) Estación Zaruma

Humedad %				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
87	91	92	2008 - 2017 / Enero	INAMHI
86	90	92	2008 - 2017 / Febrero	INAMHI
86	90	92	2008 - 2017 / Marzo	INAMHI
88	90	92	2008 - 2017 / Abril	INAMHI
87	90	92	2008 - 2017 / Mayo	INAMHI
84	89	93	2008 - 2017 / Junio	INAMHI
84	87	95	2008 - 2017 / Julio	INAMHI
80	84	87	2008 - 2017 / Agosto	INAMHI
79	83	87	2008 - 2017 / Septiembre	INAMHI
77	83	87	2008 - 2017 / Octubre	INAMHI
81	84	87	2008 - 2017 / Noviembre	INAMHI
83	87	89	2008 - 2017 / Diciembre	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

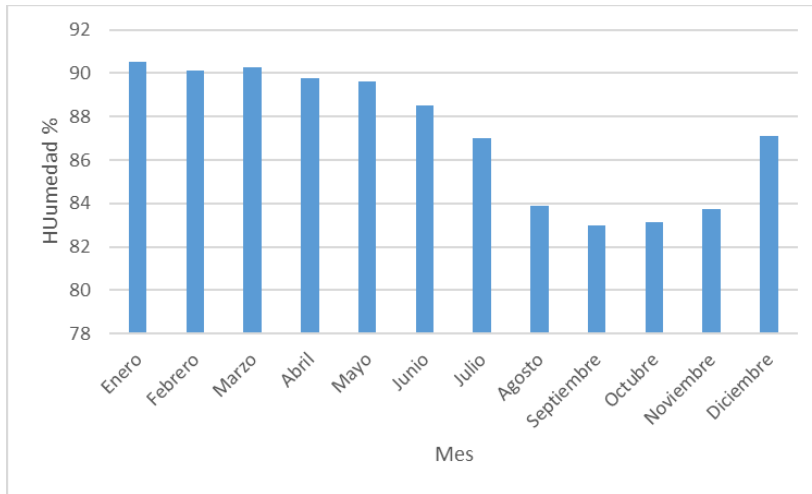


Figura 3-7 Humedad relativa mensual, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.1.7 Nubosidad

Análisis Anual

El estado de la cobertura nubosa en el área de la estación Zaruma, durante el periodo comprendido entre 2008 y 2017, evidencia predominio de cielos nublados de manera persistente. La **nubosidad promedio anual** presenta una estabilidad notable, manteniéndose en un rango de **6 a 7 octas**. Dado que la escala de octas define el grado de cubrimiento del cielo (donde 8 representa cielo totalmente cubierto), estos valores indican que, en promedio, más del 75% de la bóveda celeste permanece con presencia de nubes durante el año.

En el análisis de los valores extremos, se observa que la nubosidad mínima anual ha descendido hasta las **4 octas** en los años 2014 y 2017, representando los periodos con mayor apertura de claros. Por el contrario, los valores máximos alcanzan frecuentemente las **8 octas** (como en 2008, 2009 y 2014), lo que confirma episodios recurrentes de cielos completamente cerrados. Esta alta densidad nubosa es consistente con los niveles de humedad relativa registrados en la zona y sugiere un entorno con alta frecuencia de neblina, factor que debe ser considerado para la planificación de actividades que requieran visibilidad clara o dependan de la radiación solar directa.

Tabla 3-8 Nubosidad media anual (octas) Estación Zaruma

Nubosidad				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Año	Fuente
6	7	8	enero - diciembre / 2008	INAMHI
5	6	8	enero - diciembre / 2009	INAMHI
5	6	7	enero - diciembre / 2010	INAMHI
5	7	7	enero - diciembre / 2011	INAMHI
5	6	7	enero - diciembre / 2012	INAMHI
5	6	7	enero - diciembre / 2013	INAMHI
4	6	8	enero - diciembre / 2014	INAMHI
5	6	7	enero - diciembre / 2015	INAMHI
6	6	7	enero - diciembre / 2016	INAMHI
4	6	7	enero - diciembre / 2017	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

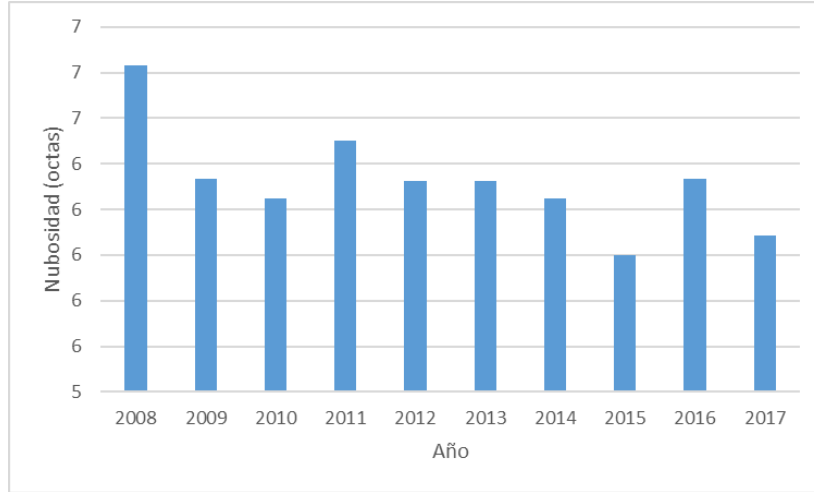


Figura 3-8 Nubosidad media anual (octas) Estación Zaruma

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Análisis Mensual

A nivel mensual, la nubosidad presenta una ligera variación que coincide con la estacionalidad de las lluvias. Durante la época húmeda, especialmente entre los meses de **enero y abril**, la nubosidad promedio alcanza su punto máximo de **7 octas**, con registros máximos frecuentes de **8 octas** (cielo cerrado). Esta densa cobertura nubosa es la responsable de la reducción de la radiación solar directa durante el primer cuatrimestre del año.

Por el contrario, se observa una relativa disminución en la cobertura nubosa durante los meses de **julio y agosto**, donde el promedio desciende a **5 octas**. Este periodo representa la mayor apertura del cielo en la zona, con valores mínimos que llegan a las **4 octas**, permitiendo una mayor incidencia solar. Sin embargo, incluso en estos meses considerados "despejados", la nubosidad nunca cae por debajo de la mitad del cielo cubierto (4/8), lo que confirma que el área de Cayo Gold posee un carácter climático predominantemente nuboso durante todo el ciclo anual.

Tabla 3-9 Nubosidad media mensual (octas) Estación Zaruma

Nubosidad				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
7	7	8	2008 - 2017 / Enero	INAMHI
7	7	8	2008 - 2017 / Febrero	INAMHI
7	7	7	2008 - 2017 / Marzo	INAMHI
7	7	7	2008 - 2017 / Abril	INAMHI
6	6	7	2008 - 2017 / Mayo	INAMHI
5	6	7	2008 - 2017 / Junio	INAMHI
4	5	6	2008 - 2017 / Julio	INAMHI
5	5	7	2008 - 2017 / Agosto	INAMHI
5	6	6	2008 - 2017 / Septiembre	INAMHI

Nubosidad				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
5	6	7	2008 - 2017 / Octubre	INAMHI
5	6	7	2008 - 2017 / Noviembre	INAMHI
6	7	7	2008 - 2017 / Diciembre	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

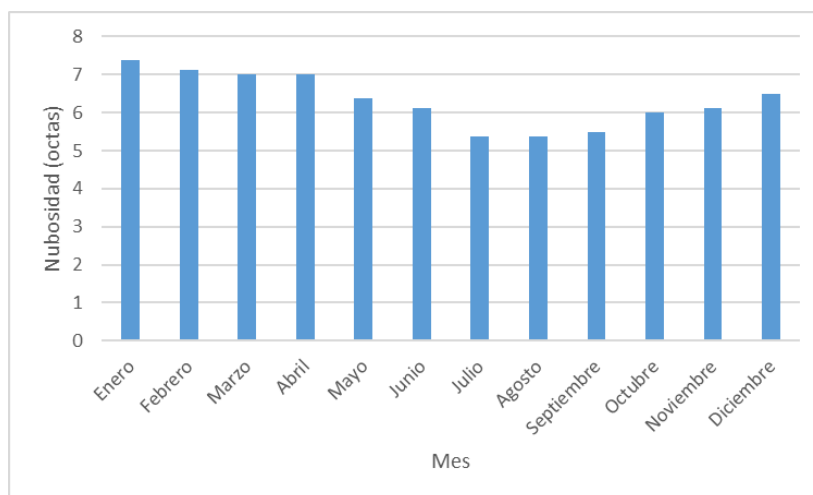


Figura 3-9 Nubosidad media mensual (octas), estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.1.8 Velocidad del viento

Análisis Anual

Los registros de la velocidad del viento en la zona de estudio durante el periodo 2008-2017 muestran un régimen de vientos suaves a moderados. La **velocidad promedio anual** se mantuvo mayoritariamente constante en **2,4 m/s** entre los años 2008 y 2013 con un promedio de **2,62 m/s**, presentando un incremento puntual en **2014 con un máximo promedio de 3,3 m/s**. En los años finales de la serie, se observa una tendencia a la disminución, alcanzando promedios de 1,9 m/s en 2016.

Respecto a las intensidades máximas anuales, destaca el año 2014, donde se registraron ráfagas promedio de hasta **4,5 m/s**. Por el contrario, los valores mínimos anuales han fluctuado entre 1,4 m/s y 2,6 m/s. De acuerdo con la Escala de Beaufort, estos valores clasifican el viento de la zona predominantemente como "Brisa Muy Débil" o "Brisa Ligera", lo que sugiere un entorno de baja energía eólica, con flujos de aire que favorecen una dispersión atmosférica moderada.

Tabla 3-10 Velocidad del viento media anual (m/s) Estación Zaruma

Velocidad del viento (m/s)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Año	Fuente
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2008	INAMHI
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2009	INAMHI
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2010	INAMHI
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2011	INAMHI
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2012	INAMHI
2,1	2,4	2,8	enero - diciembre / 2013	INAMHI
2,6	3,3	4,5	enero - diciembre / 2014	INAMHI
1,4	2,2	2,7	enero - diciembre / 2015	INAMHI
1,6	1,9	2,0	enero - diciembre / 2016	INAMHI
1,8	2,0	2,3	enero - diciembre / 2017	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

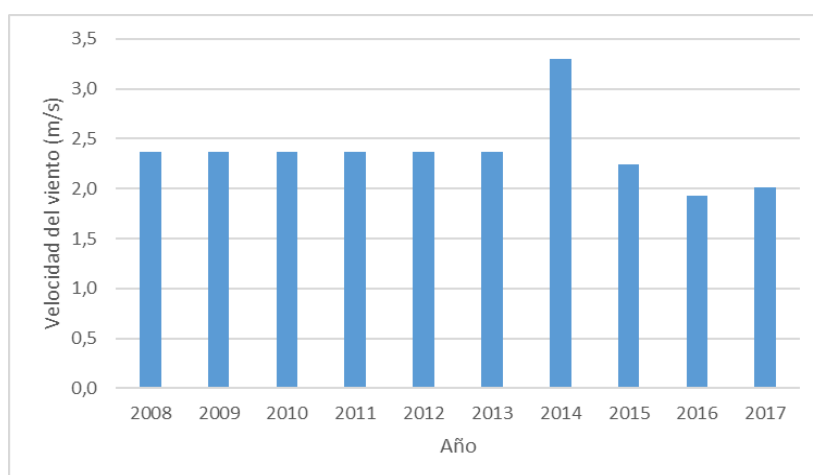


Figura 3-10 Velocidad del viento media anual (m/s) Estación Zaruma

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Análisis Mensual

A nivel mensual, la velocidad del viento presenta una estacionalidad definida que alcanza su mayor intensidad durante el segundo semestre del año. Los meses de **julio, agosto y septiembre** registran los promedios más altos, con un pico de **2,8 m/s en agosto**. Este incremento mensual coincide con la época de menor nubosidad y precipitación, sugiriendo una mayor dinámica de las masas de aire durante la temporada seca.

Por el contrario, durante el primer semestre (enero a junio), las velocidades promedio son ligeramente inferiores, oscilando entre **2,1 m/s y 2,4 m/s**. El valor máximo absoluto mensual reportado corresponde al mes de agosto con **4,5 m/s**, mientras que el valor mínimo más bajo se observa en mayo con **1,4 m/s**. Esta regularidad en la velocidad del viento es favorable para las operaciones del proyecto, ya que no se identifican periodos de vientos extremos o calmas prolongadas que pudieran comprometer la estabilidad ambiental o la seguridad operativa de forma recurrente.

Tabla 3-11 Velocidad del viento media mensual (m/s) Estación Zaruma

Velocidad del viento (m/s)				
Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo de Registro / Mes	Fuente
1,9	2,3	3	2008 - 2017 / Enero	INAMHI
1,7	2,2	3,1	2008 - 2017 / Febrero	INAMHI
1,6	2,1	3,1	2008 - 2017 / Marzo	INAMHI
1,6	2,1	3,2	2008 - 2017 / Abril	INAMHI
1,4	2,1	2,9	2008 - 2017 / Mayo	INAMHI
1,9	2,4	3,4	2008 - 2017 / Junio	INAMHI
2	2,6	3,5	2008 - 2017 / Julio	INAMHI
2	2,8	4,5	2008 - 2017 / Agosto	INAMHI
2	2,6	3,5	2008 - 2017 / Septiembre	INAMHI
2	2,5	3,6	2008 - 2017 / Octubre	INAMHI
2	2,5	3,2	2008 - 2017 / Noviembre	INAMHI
1,8	2,3	2,6	2008 - 2017 / Diciembre	INAMHI

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

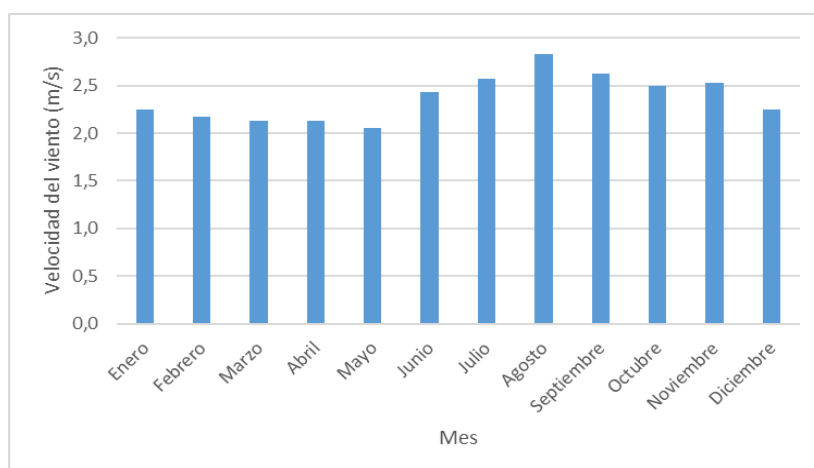


Figura 3-11 Velocidad del viento mensual (m/s), estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.1.9 Dirección del viento

Definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla el viento (de donde proviene).

Tabla 3-12 Dirección del viento media mensual Estación Zaruma

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2008	W	W	W	S	S	NW	E	S	S	S	S	NW
2009	S	SW	S	W	SW	S	E	SE	SE	E	E	S
2010	SE	E	S	SE	NE	SE	E	S	SE	SE	E	SE
2011	SE	SE	S	SE	E	SE	SE	SE	NE	SE	SE	SE

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	SE	SE	S	SE	E	SE	SE	SE	E	SE	SE	SE
2013	SE	SE	S	SE	E	SE	SE	SE	E	SE	SE	SE
2014	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
2015	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
2016	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
2017	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Predominante	SE	SE	S	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

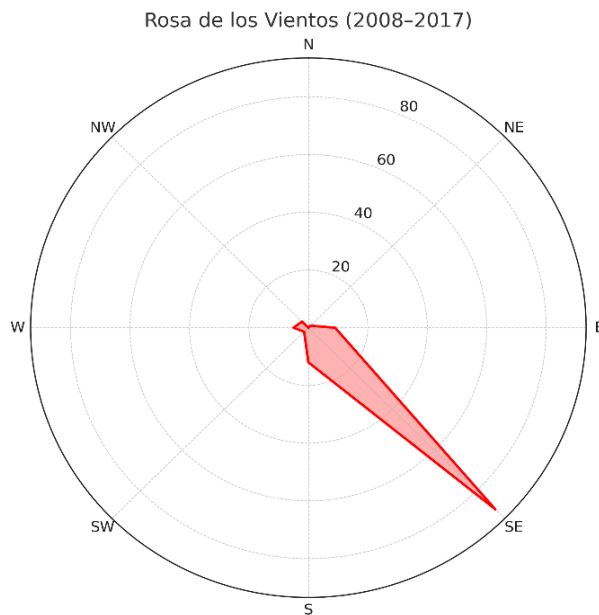


Figura 3-12 Rosa de los vientos, estación meteorológica del cantón Zaruma, El Oro.
 Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

La dirección predominante del viento en la estación Meteorológica Zaruma es hacia el Sur Este.

3.1.1.10 Evapotranspiración

Para la obtención del parámetro Evapotranspiración anual se utilizó datos de los anuarios meteorológicos de cada estación y la ecuación de Turc (Remenieras, 1974; Custodio y Llamas, 2001):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde;

ETR= Evapotranspiración real en mm/año

P= Precipitación en mm/año

$$L = 300 + (25 * t) + (0,05 * t^3)$$

T= Temperatura media anual en °C

Para ello, mediante el cálculo de interrelación de las variables de precipitación y temperatura para cada año se obtuvo la variación de la ETR (expresado en mm). Los valores registrados para cada estación se presentan a continuación:

Tabla 3-13 Evapotranspiración (mm) Estación Zaruma

Evapotranspiración					
AÑO	ETP REAL - TURC				
	Precipitación (mm)	Temperatura media anual (°C)	L	P ² /L ²	VALOR ETP REAL (TURC)
	P	t	-	-	mm/año
2008	1860,6	21,33	1318,79	1,99	1094,4
2009	1565,1	22,08	1390,56	1,27	1063,2
2010	1536,5	22,32	1413,64	1,18	1065,0
2011	1569,3	21,52	1335,99	1,38	1039,3
2012	1721,2	22,08	1390,56	1,53	1103,7
2013	1683,6	22,08	1390,56	1,47	1094,6
2014	1658,2	22,03	1384,84	1,43	1085,4
2015	1632,7	22,48	1429,51	1,30	1099,6
2016	1851,7	22,88	1471,22	1,58	1174,9
2017	2132,9	22,03	1385,66	2,37	1179,6
SUMA					10999,794

Fuente: Estación Zaruma, Anuario Meteorológico – INAMHI, 2008-2017

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026



Figura 3-13. Evapotranspiración promedio anual - Estación Zaruma

Fuente: Anuarios Meteorológicos (INAMHI 2008 – 2017).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

El cálculo de la Evapotranspiración Real (ETR) mediante el método de Turc para la estación Zaruma revela la cantidad de agua que se pierde efectivamente en la cuenca por la combinación de factores térmicos y pluviométricos. Durante el periodo 2008-2017, la **ETR anual promedio** se ha mantenido en un rango que

oscila entre los **1039,3 mm (2011)** y los **1179,6 mm (2017)**. Estos valores son moderadamente altos, lo que refleja un entorno con suficiente energía solar y disponibilidad de agua para mantener procesos de evaporación constantes.

Al contrastar estos datos con la precipitación anual, se observa que la ETR representa, en promedio, entre el **55% y el 65% del total de lluvia caída**. Por ejemplo, en el año 2017, de los 2132,9 mm de lluvia, aproximadamente 1179,6 mm regresaron a la atmósfera, dejando un excedente hídrico significativo para la escorrentía y recarga de acuíferos. El factor "L" en el cálculo (parámetro de temperatura) muestra una tendencia creciente hacia el final de la serie (específicamente en 2016 con 1471,22), lo que guarda coherencia con el aumento de la temperatura promedio observado en los análisis previos.

Implicaciones para el Balance Hídrico

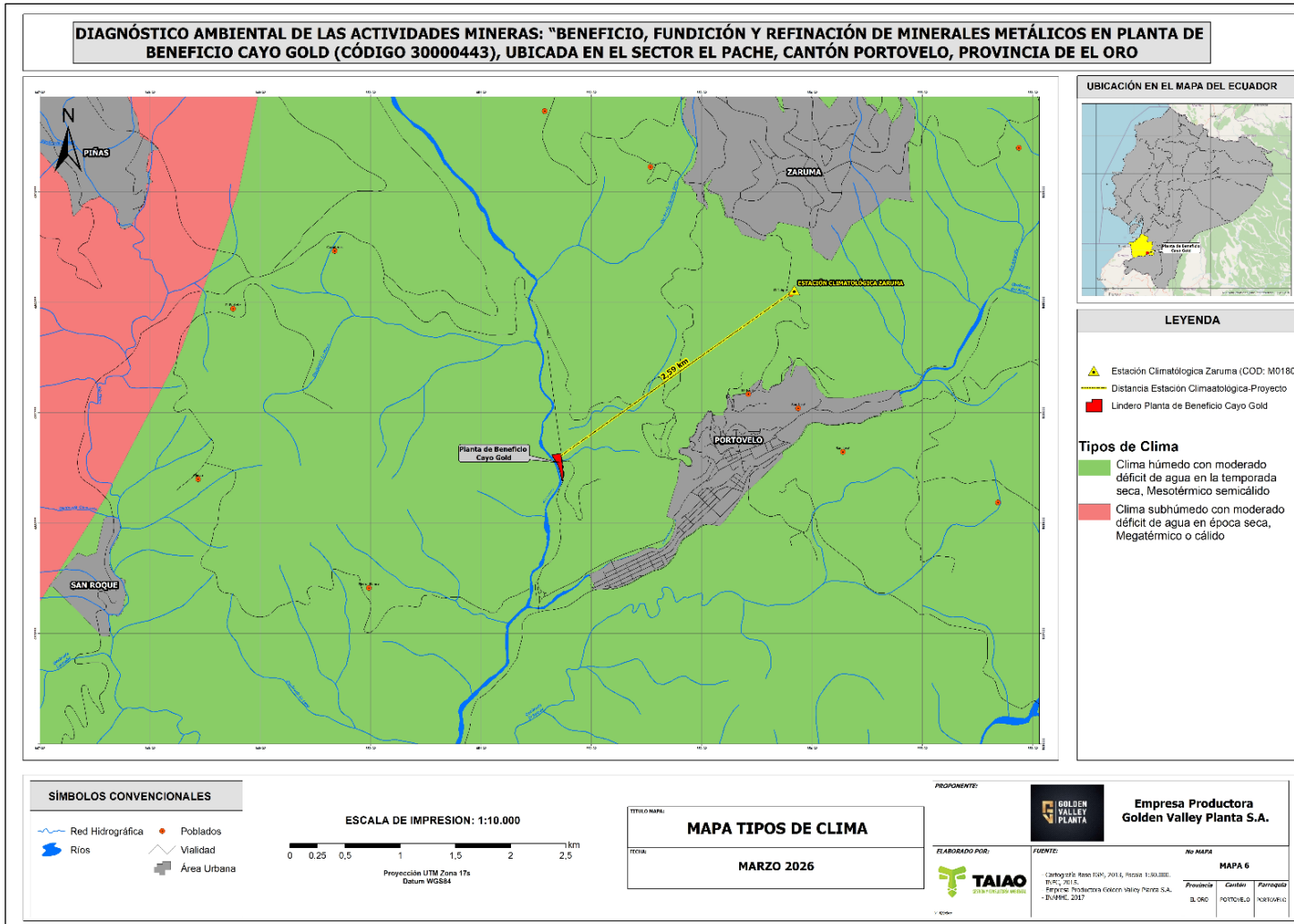
La estabilidad de los valores de ETR (con una suma total acumulada de **10.999,8 mm** en el decenio) sugiere que la zona posee una capacidad de regulación hídrica constante. El hecho de que la precipitación siempre supere a la evapotranspiración real en todos los años de la serie confirma que el área del proyecto Cayo Gold se encuentra en un régimen de **superávit hídrico**. Esto es crucial para el diseño de infraestructuras, ya que asegura que siempre existirá un remanente de agua líquida que debe ser gestionado mediante sistemas de drenaje, especialmente en años de alta pluviosidad como 2017 donde el índice P^2/L^2 alcanzó su valor más alto (2,37).

3.1.1.11 Clasificación climática según Köppen

A planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443) le corresponde el clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, (referirse al mapa 5.3) cuyas temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 12° C a 20° C, aunque pueden ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol; las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 0° C y las máximas no superan los 30° C, variando en función de la altura y de la exposición.

La humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 % y el 85 %; y la duración de la insolación puede ir de 1000 a 2000 horas anuales. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 a 2000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas: de febrero a mayo; y de octubre a noviembre. La estación seca principal de junio a septiembre es generalmente muy marcada, en cuanto a la segunda, su duración y localización en el tiempo es mucho más aleatoria, aunque se puede adelantar, siendo por lo general inferior a tres semanas y situándose a finales de diciembre, razón por la que se la llama “veranillo del Niño”.

La vegetación natural de esta zona ha sido ampliamente sustituida por pastizales y monocultivos (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, 2009).



Mapa 3-3 Tipos de Clima planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.2 Aire

A fin de caracterizar la calidad del aire en el área de emplazamiento de Cayo Gold (cód. 30000443) se ha seccionado su monitoreo partir de los siguientes elementos: ruido y calidad del aire ambiente (material particulado).

3.1.2.1 Ruido

3.1.2.1.1 Ruido Diurno

Para la medición del ruido ambiental externo se adoptó el método de 15 segundos Leq 15s, determinando la evaluación de una medición con bandas de octavas previa de 10 minutos con un intervalo de 1 segundo, verificándose así la ausencia de ruido impulsivo; y determinando la evaluación del contenido energético en bajas frecuencias para la determinación del flujo que se aplicaría. Una vez seleccionado el método de medición se tomaron 10 registros para comprobar de forma objetiva la presencia o ausencia de ruido impulsivo.

La comparación de resultados en función a los límites máximos permisibles se llevó a efecto según lo estipulado en el Anexo 5, Tabla 1: Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles, Acuerdo Ministerial 097-A de julio de 2015, considerando los niveles máximos de ruido (Lkeq) para fuentes fijas. Los criterios aplicados para establecer el punto de monitoreo fue:

- Inspeccionar las instalaciones de Cayo Gold con el fin de ubicar las fuentes generadoras, determinando la actividad, proceso u operación que conlleve a la emisión de ruido.
- Programar el trabajo de campo y realizar las mediciones de niveles de ruido en puntos estratégicos. A partir de ello, se estableció un punto de medición al ingreso de la planta de beneficio, a objeto de establecer el ruido residual, medición del ruido que existe en el ambiente en ausencia del ruido específico en el momento de la medición (ruido externo).

3.1.2.1.1.1 Resultados

La evaluación de la fuente emisora de ruido (FFR) y área evaluada se resume a continuación, también se presenta como anexo el reporte de la medición realizada por laboratorio de ensayos Elicrom Cia. Ltda para el punto establecido. Con el uso de los equipos, enseguida enlistados, se generó la tabla 5.3 en la que constan los resultados respecto del monitoreo al ruido ambiental externo el 2025.

- **Sonómetro integrado**, marca CESVA, modelo SC310, serie T229797.
- **Calibrador de sonómetro**, marca SPER SCIENTIFIC, modelo 850016, serie 150102903.
- **Estación meteorológica**, marca ACURITE, modelo 1512, serie N/E.
- **Termohigrómetro**, marca ELC, modelo TH-0510, serie N/E.
- **Anemómetro**, marca CONTROL COMPANY, modelo 3655, serie 160252809
- **Barómetro digital**, marca CONTROL COMPANY, modelo 1081, serie 160253690

Tabla 3-14 Resultados del monitoreo respecto del ruido ambiental externo / condiciones climáticas en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Parámetro	Ruido ambiente externo		Normativa	Anexo 5.						
	Ubicación puntos muestreo	UTM WGS 84		Tabla 1: Niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) para fuentes fijas de ruido. Uso de suelo (FFR): Industrial 3 (ID ₃)						
	Frente al ingreso principal	651857 9589129								
Lugar medición	Ponderación	Tiempo total medición (horas)	Resultados 24/03/2025							Límite máximo permisible (normativa) LKeq (dB)
			Total de muestras	Tipo de medición	LA _{max}	LA _{min}	LA _{eq,rp}	LA _{eq,tp}	LKeq	
Ingreso principal	A	8	10	-	77	65	65	67	67	70
Condiciones ambientales			Temperatura media							30°C
			Humedad relativa							57,9 % HR
			Velocidad del viento							1,2 m/s
			Presión atmosférica							703,3 mmHg
			Nubosidad							40 %

Fuente: Informe de ensayo N° MGE-0438-001-25
 Elaboración: ENERMILL CIA LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2025.

Fuente: ELICROM Cía. Ltda. Informe de ensayo No. MGE-0438-001-25. Tabla 1: Niveles máximos de emisión de ruido (LKeq) para fuentes fijas de ruido, Anexo 5 de los Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles Acuerdo Ministerial 097-A.

Esta medición tuvo como finalidad evaluar el ruido presente en el área externa de la planta de beneficio (referirse al mapa 3.4) como parte de la línea base del Diagnóstico Ambiental correspondiente. Durante las mediciones, se pudo constatar que el ruido externo (de fondo) corresponde al generado por el tránsito vehicular, así como por el equipo y maquinaria operados con fines mineros de las plantas de beneficio aledañas, en este caso, los puntos críticos de afectación son las viviendas y negocios cercanos. De conformidad con el informe de monitoreo ejecutado en marzo del 2025 (informe N° MGE-0438-001-25), se expresa que el parámetro ruido se encuentra dentro del LMP establecido en la normativa ambiental.

Finalmente, en el Anexo 5: Niveles Máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles Acuerdo Ministerial 097-A de julio de 2015, se indica que “La persona o empresa que realiza las mediciones no es quien determina si una FFR cumple o no con los niveles máximos de ruido, su función es solo determinar y reportar el valor LKeq. Será la Autoridad Ambiental competente quien determine si hay cumplimiento o no”.

En el apartado de anexos, nombrado como Anexo 6. Informe de laboratorio respecto del monitoreo a la calidad del aire, parámetro: ruido ambiente externo, se adjunta el respectivo reporte de resultados de monitoreo.

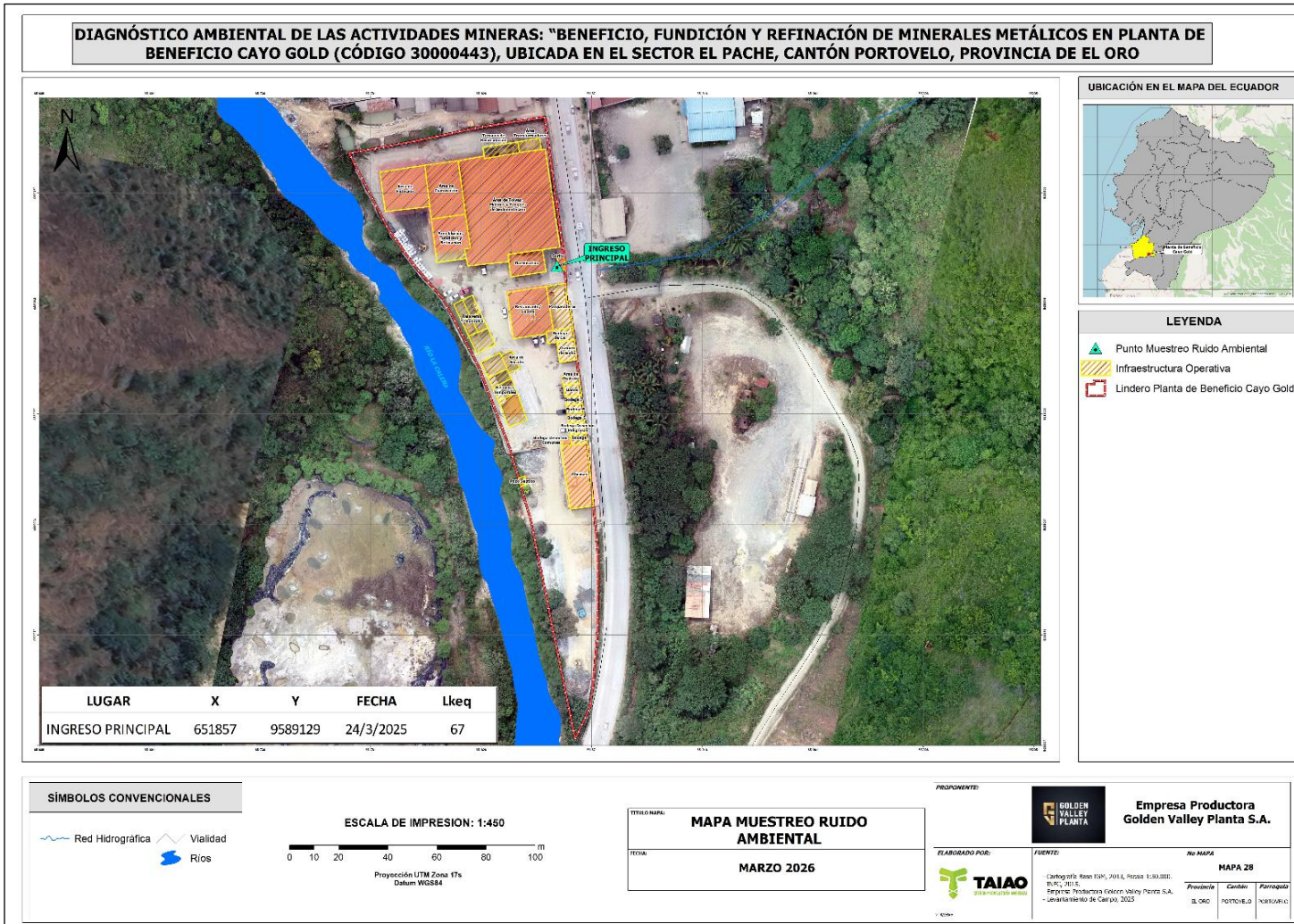
3.1.2.1.2 Ruido Nocturno

No fue factible realizar un monitoreo de ruido nocturno, sin embargo, se han realizado las gestiones necesarias para realizar el monitoreo de ruido ambiental nocturno en las inmediaciones de la Planta de Beneficio Cayo Gold, para lo cual hemos solicitado al laboratorio acreditado ELICROM le emisión de la propuesta de servicios para esta solicitud, sin embargo en el marco del Decreto Ejecutivo N° 329, del 13 de Marzo del 2026, la provincia de El Oro se encuentra en estado de excepción y se ha suspendido el libre



tránsito nocturno desde las 23:00 a 5:00 desde el 15 de Marzo del año en curso, razón por la cual el laboratorio ELICROM con fecha 19 de Marzo vía correo electrónico nos manifiesta que se imposibilita la realización del monitoreo nocturno debido a la restricción de movilidad en la provincia, adicional a los cierres viales en las vías de acceso a Portovelo debido a la situación invernal. Los medios de verificación de esta gestión se presentan en Anexos/ Anexo B/ 13. Justificación Ruido Nocturno.

Cabe indicar que como medida de control en el Plan de Manejo Ambiental se incluye una medida en donde se estipula que una vez se apruebe el presente Estudio de Impacto Ambiental y se eliminen las restricciones de circulación se ejecutará el monitoreo de ruido nocturno.



Mapa 3-4 Referenciación del punto de monitoreo del parámetro: ruido ambiente externo en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.2.2 Calidad del aire

3.1.2.2.1 Material particulado

La medición de material particulado se realizó en concordancia a los lineamientos establecidos en la Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, libro VI, Anexo 4, Acuerdo Ministerial 097-A de julio de 2015, específicamente la tabla 2 que contiene los métodos de medición de concentración de contaminantes criterio aire.

En base a lo mencionado, y considerando las características del sitio de muestreo, el método de medición fue:

- **Material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5})**, el promedio aritmético de la concentración durante 24 horas no debía exceder de 50 microgramos por metro cúbico (50 µg/m³) a partir del uso de un muestreador de partículas equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 2,5 micrones eran captadas en un filtro de alta eficiencia, y la concentración se determinó mediante el peso ganado por el filtro dividido para el volumen total de aire muestreado en un periodo de 24 horas continuas.
- **Material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀)**, el promedio aritmético de la concentración durante 24 horas no debía exceder de 100 microgramos por metro cúbico (100 µg/m³) a partir del uso de un muestreador de partículas equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 10 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 10 micrones eran captadas en un filtro de alta eficiencia, y la concentración se determinó mediante el peso ganado por el filtro dividido para el volumen total de aire muestreado en un periodo de 24 horas continuas.

3.1.2.2.1.1 Resultado de material particulado

Para el monitoreo de material particulado se utilizó el equipo enseguida nombrado, refiriendo los resultados en la tabla 5.4; y cuyo reporte de medición se adjunta como anexo:

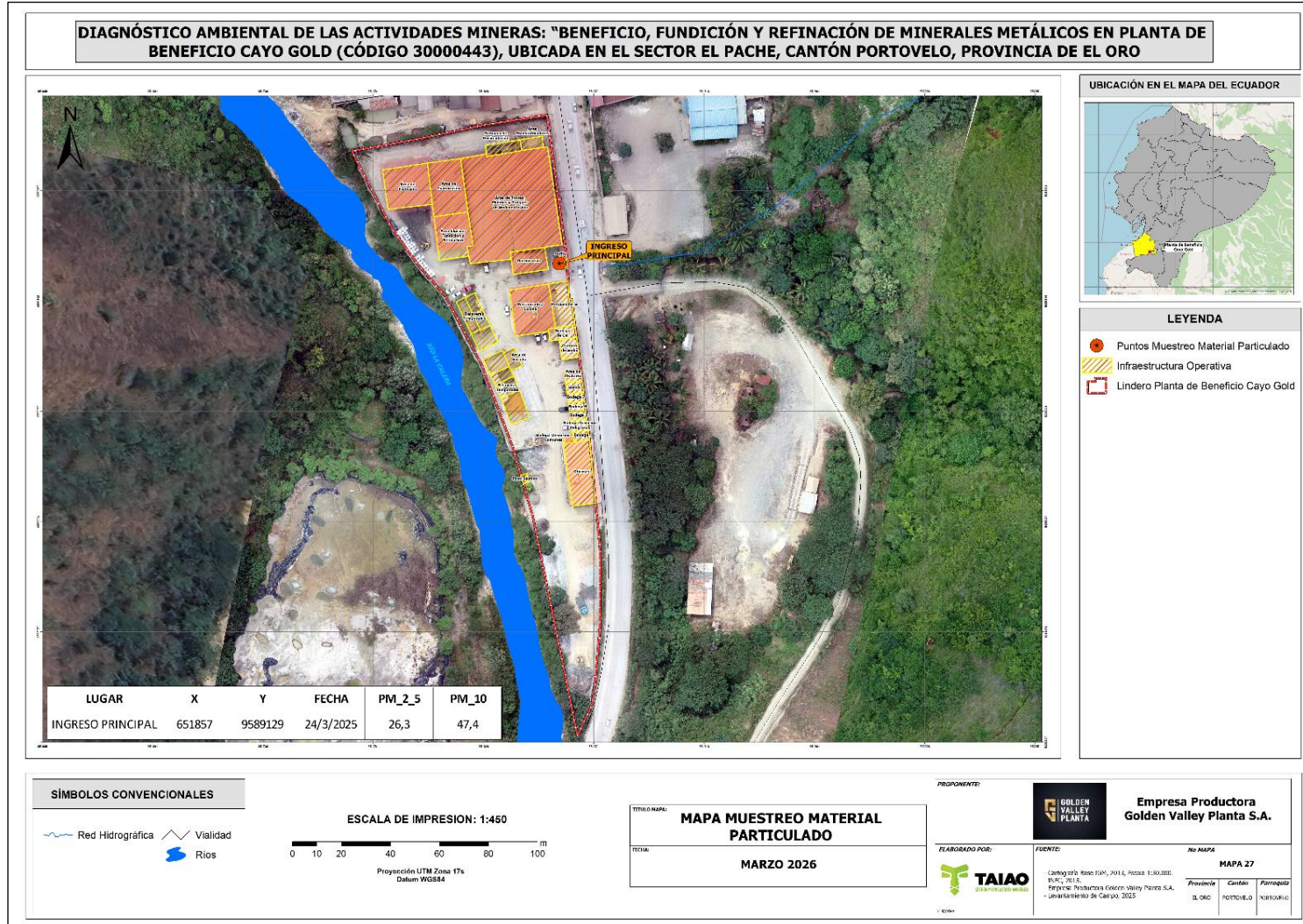
- **Muestreador de partículas**, marca MESALAB, modelo PQ200, serie 2509.
- **Muestreador de partículas**, marca MESALAB, modelo PQ200, serie 2445.
- **Balanza analítica**, marca KERN, modelo ABT220-5DM, serie WB12E0118.
- **Calibrador primario de flujo**, marca BIOS, modelo DEFENDER 520, serie 115181.
- **Termohigrómetro**, marca TAYLOR, modelo 1523, serie N/E.
- **Anemómetro**, marca CONTROL COMPANY, modelo 3655, serie 160252815.
- **Barómetro digital**, marca CONTROL COMPANY, modelo 1081, serie 160253710.

Tabla 3-15 Resultados del monitoreo respecto del material particulado en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443)

Parámetro	Material particulado		Normativa	Anexo 4.	
Ubicación puntos muestreo	Frente a ingreso principal			Ítem 4.1.2 del Anexo 4 del AM 097-A	
UTM WGS 84	651857	9589129			
Resultados 24/03/2025					
Parámetro de caracterización	Valor encontrado	Concentración corregida	Incertidumbre	Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Declaración de conformidad
PM _{2,5}	24,0	26,3	5,5	50	Conforme
PM ₁₀	43,2	47,4	5,1	100	Conforme
Condiciones ambientales				Temperatura media	29,8 °C
				Humedad relativa	44,6 % HR
				Velocidad del viento	1,1 m/s
				Presión atmosférica	704,3 mmHg
<i>Fuente: ELICROM Cía. Ltda. Informes de ensayo No. MGE-0438-002-25, ítem 4.1.2 del Anexo 4 del AM 097-A</i> Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026					

Los resultados del muestreo de material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀) en el área de ingreso a la planta, evidencian estar **dentro** de los límites permisibles, establecidos en el ítem 4.1.2 del Anexo 4 del AM 097-A ; sin embargo, al haberse llevado a cabo los monitoreos en el punto de ingreso (referirse al mapa 5.5.), no se pueden establecer medidas de eliminación o reducción en la fuente, porque el sitio de incidencia es la vía de El Pache (bien público sobre el cual Empresa Productora Golden Valleyplanta S.A., no tiene acción).

A partir de lo expuesto, se recomienda que los próximos muestreos puedan realizarse al interior de Cayo Gold, explícitamente cerca del circuito de trituración - molienda - concentración gravimétrica a fin de evidenciar si dentro de las instalaciones la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ambos parámetros se encuentra dentro de norma, y de no ser el caso poner en ejecución medidas que contrarresten o eliminen el impacto.



Mapa 3-5 Referenciación del punto de monitoreo del parámetro: PM_{2,5} y PM₁₀ en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.3 Geología

3.1.3.1 Metodología

La caracterización geológica se realiza a partir de la revisión bibliográfica disponible del sector en donde se ubica planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443). Para el análisis del componente se describen las características generales de las unidades geológicas identificadas a nivel de formaciones y la litología dominante de las mismas. La elaboración de esta sección se realiza sobre la base de la información geológica de fuentes oficiales de información existentes como el Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador (IIGE) y el Proyecto SIGTIERRAS, perteneciente al Ministerio de Agricultura Ganadería (MAG).

3.1.3.2 Geología regional

La zona de estudio se centra en las estribaciones de la cordillera Occidental, constituida por rocas metamórficas de edad Paleozoica. Sobre ellas yacen adosados grandes paquetes volcánicos de origen Oceánico. Todo esto, en conjunto está instruido por rocas ígneas.

Los dominios y ambientes geotectónicos involucrados son el Bloque Amotape Tahuín (BAT) que constituye el basamento metamórfico. El BAT comprende la faja metamórfica de las cordilleras de Amotape en Perú y Tahuín en Ecuador. Según Aspden y otros (1995), de sur a norte el bloque incluye las rocas meta sedimentarias paleozoicas de la división Tahuín que se encuentran tectónicamente asociadas a los complejos de granitoides Moromoro y Máfico Piedras, ambos de edad triásica.

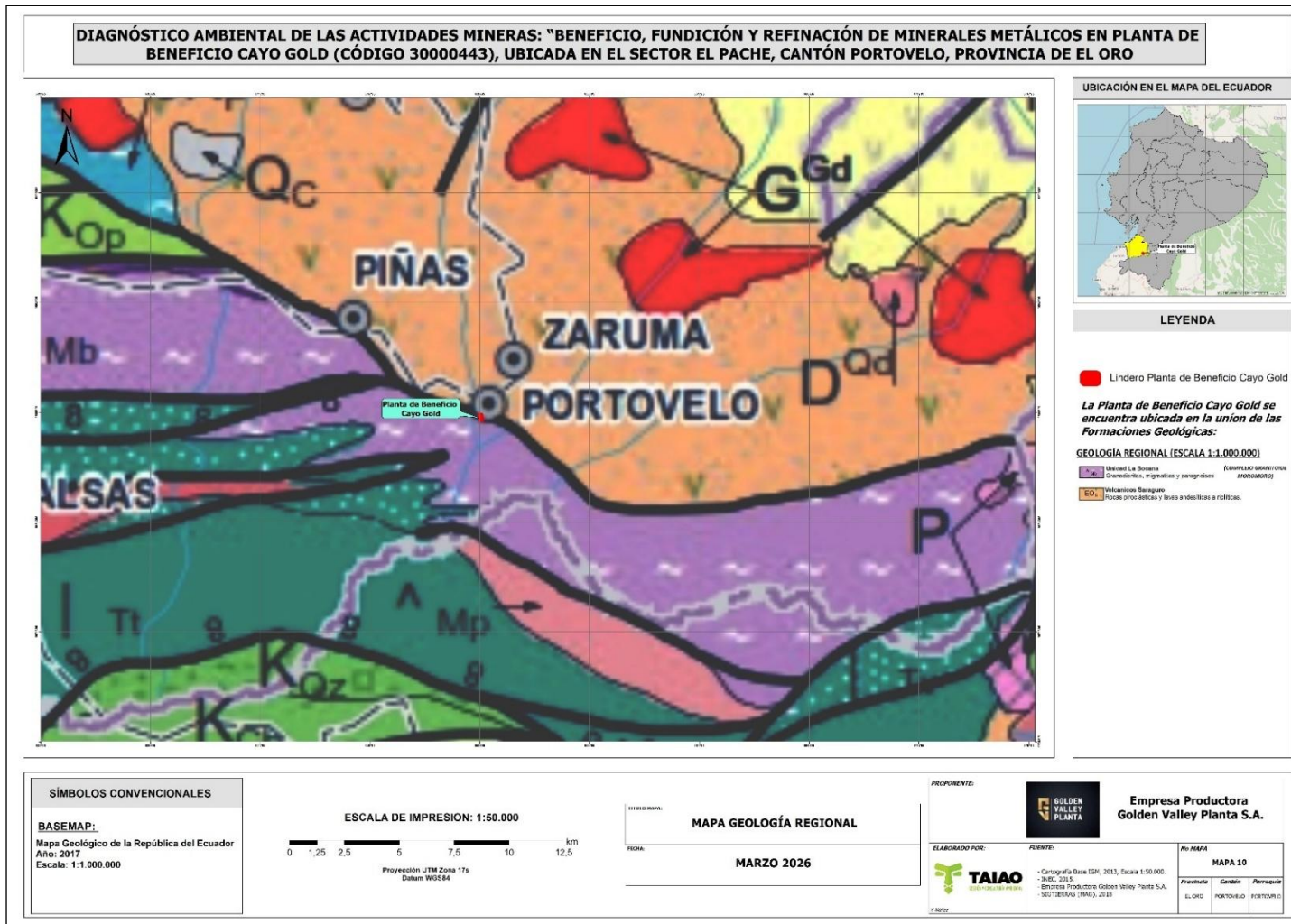
Algunas de las formaciones existentes son el Complejo Metamórfico El Oro de edad Paleozoica, sobre las que yacen adosadas capas de sedimentos metamorforizados, tales como pizarras y conglomerados con clivaje. Otras unidades presentes son la Formación Celica que sobreyace discordante al Complejo Metamórfico El Oro, que comprende tobas andesíticas a dacíticas y andesitas, de edad Albeana; la Formación Sacapalca que comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas. Y, por último, el Grupo Saraguro, conformado por tobas soldadas de composición dacítica a riolítica, lavas andesíticas, material volcánico y rocas sedimentarias.

En la margen derecha del Río Calera se encuentran tobas riolíticas y las rocas metamórficas (cuarcitas, esquistos, filitas) de la serie Tahuín, la misma serie Tahuín se encuentra en ambos márgenes del Río Amarillo, después de su confluencia con el Río Calera.

Estudios más recientes dan una visión más completa, misma que se detalla a continuación:

- Rocas Metamórficas. - Interpretadas como la continuación al norte del Complejo Metamórfico El Oro (Aspden, Bonilla, & Duque, 1995) y (Feininger, 1978), probablemente subyace la mayor parte del área. Se encuentran predominantemente al sur (S) de la falla Piñas - Portovelo, además ocurren en forma de ventanas erosionales en lugares tales como Manú, Vega Rivera, Río Luís, Río Palmas, Río Chicola, y Río Daucay. Predominan rocas metasedimentarias incluyendo algunas de muy bajo grado (subesquistos verde), tales como pizarras y conglomerados con clivaje. Sin embargo, gneises, algunos graníticos conteniendo granate, ocurren en Manú, a lo largo de rocas de bajo grado.
- Unidad Celica. - (McCourt, Duque, & Pilatasig, 1997) afloran al sureste (SE) del área donde sobreyace discordantemente al Complejo Metamórfico El Oro. Las principales litologías comprenden tobas andesíticas y dacíticas muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesito - basálticas. Relaciones Estratigráficas sugieren una edad Albeana para esta unidad (Jaillard, y otros, 1996).

- Unidad Sacapalca. - (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997) Estas rocas afloran en pequeña proporción al noreste (NE) del área. La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas. Andesitas al norte (N) de Manú, en el tope de la unidad, dan una edad de trazas de fisión del Oligoceno tardío (24.8 ± 1.8 Ma), que puede ser un reajuste causado por una cercana intrusión ígnea.
- Grupo Saraguro. - (Dunkley, Gaibor, & Pratt, 2000) ocupa la mayor parte del área maceda, donde está bien expuesta. Consiste principalmente de tobas soldadas de flujo de ceniza de composición riolítica a dacítica como las que se observan al oeste (O) de Manú, lavas andesíticas, material volcánico retrabajado y rocas sedimentarias. La mayor parte del Grupo Saraguro está indiferenciado, reconociéndose las siguientes unidades litológicas dentro del área regional: unidad Portovelo y Formación Jubones.
- Unidad Portovelo. - (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997) afloran al norte (N) de la falla Piñas - Portovelo entre Zaruma y Huertas (cuyas coordenadas geográficas son: 6540, 96017), alrededor de Salvias (en las coordenadas geográficas: 6620, 95964) y en el Río Luís (coordenadas geográficas: 6721, 95931) donde sobreyace discordantemente el basamento metamórfico. Comprende lavas basalto - andesíticas y andesíticas ricas en cristales (plagioclasa, anfíbol y augita), tobas andesíticas muy meteorizadas y tobas dacíticas. Datos geoquímicos limitados indican una composición andesítica de afinidad calco - alcalina. Antes fue considerada como parte de las formaciones Celica y/o Piñón (DGGM 1973 a, (Kennerley, 1971) sin embargo, aquí se relaciona, provisionalmente con el Grupo Saraguro.
- Formación Jubones. - (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997) ocurre como ventana erosional al Sur (S) de Guanazán. Es una exposición al norte (N) del área investigada en un estrecho graben en el lugar indicado (coordenadas geográficas: 668000, 9616500) (Dunkley, Gaibor, & Pratt, 2000). La Formación Jubones sobreyace los más antiguos estratos del Grupo Saraguro con una fuerte discordancia angular en algunos lugares y consiste de una toba rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Diaclasas de enfriamiento en forma columnar de gran escala (>1 m de diámetro) y una débil foliación de soldadura están bastante esparcidas. Una brecha coignimbrítica tipo “lag” y un depósito de oleaje basal con árboles silicificados ocurre en la localidad tipo. Se ha obtenido una edad del Mioceno temprano.
- Rocas Intrusivas. - Granodioritas y dioritas están predominantemente distribuidas formando un cinturón con dirección noroeste (NO) - sureste SE. Estas rocas intrusivas están esparcidas intruyendo básicamente las rocas de la unidad Portovelo, y en el sector noroeste (NO) y sureste (SE) al Grupo Saraguro. Los granitoides son generalmente de grano medio a grueso, a menudo presentan evidencia de enfriamiento brusco (tal como vidrio cloritizado intersticial y fino crecimiento granofírico y holocristalino), indicativo de un emplazamiento subvolcánico (alto nivel). Stocks subvolcánicos de riolitaafírica y andesita porfirítica son comunes dentro del Grupo Saraguro y de aquellas formaciones más jóvenes. Dataciones radiométricas tipo K/Ar realizados en la granodiorita al noroeste (NO) de Paccha establecen una edad de 16.89 ± 0.16 Ma. Un manto de riolitas afloran principalmente al oeste (O) de Zaruma y en las siguientes coordenadas: 6680, 95870; y 6640, 96110. Las riolitas, que corresponden a una fase magmática extrusiva se caracterizan por ser rocas efusivas conformadas por fenocristales de feldespatos, cuarzo, plagioclasa, horblenda en una masa fluidal de vidrio volcánico.



En el Mapa anterior, elaborado en base al Mapa Geológico del Ecuador del IIGE, escala 1:1.000.000, en el año 20217, se puede apreciar que la Planta de Beneficio se encuentra entre la unión de las formaciones geológicas Unidad La Bocana, del Complejo Granitoide Moromoro, con litologías predominantes de granodioritas, migmatitas y paragneises y la formación Volcánicos Saraguro, formado por rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolitas.

3.1.3.3 Contexto geodinámico del Ecuador³

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), la ubicación geográfica del país lo posiciona en un contexto geodinámico dominado por el proceso de subducción que ha sido el principal modelador y generador de la estructura y fenómenos que ocurren en el país.

La Cordillera submarina de Carnegie es el resultado del paso de la placa Nazca por encima del punto caliente correspondiente a las Galápagos, llegando a las costas ecuatorianas con una dirección E-W y subduciendo entre las latitudes 0 y 2°S hacia el margen ecuatorial (Lonslade, 1978; Gustcher et al., 1999). Además, se ha interpretado como una cordillera asísmica que se encuentra en una constante convergencia por debajo de la placa de Sudamérica, esta subducción ha cambiado su velocidad y ángulo a lo largo de su historia, lo que ha provocado tasas de convergencia diferentes en el margen ecuatorial (Pardo-Casas & Molnar, 1987). Según Spikings et al. (2001), la llegada de Carnegie a Ecuador continental fue hace 15 Ma. Y un acoplamiento hace 9 Ma., datos respaldados por tasas de exhumación analizadas.

Las estructuras geológicas que controlan la dinámica de la cordillera de los Andes son el resultado de los esfuerzos tectónicos provocados por las interacciones antes mencionadas, como es el caso del sistema de fallas Puna, Pallatanga Cosanga y Chingual que han generado un ambiente transcurrente dextral con composición inversa (Figura 2.1) (Alvarado et al., 2016).

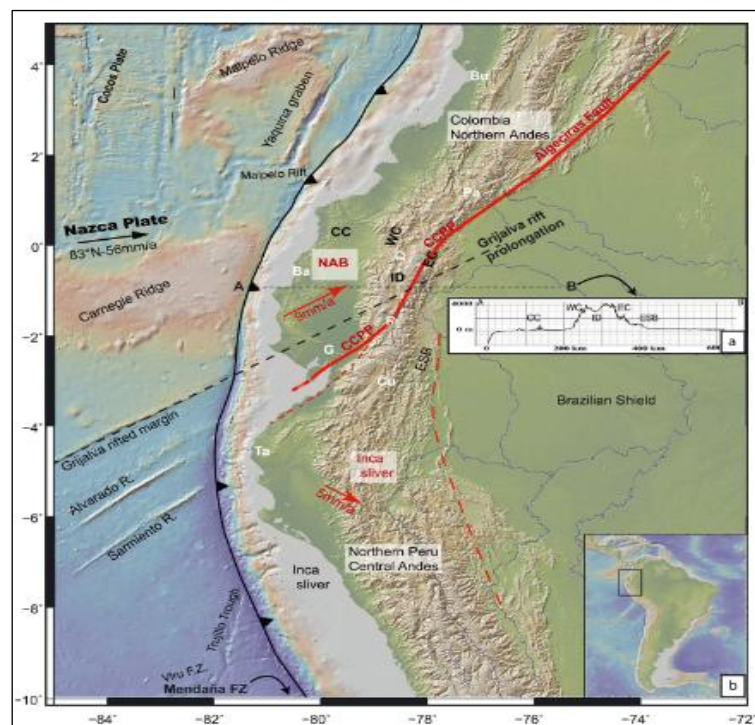


Figura 3-14 Contexto geodinámico del Ecuador

Fuente y elaboración: Yépez et al., 2016

³<https://www.igepn.edu.ec/8jornadas-presentacion-trabajos#:~:text=La%20ubicaci%C3%B3n%20de%20Ecuador%20lo,que%20ocurren%20en%20el%20pa%C3%ADs.>

3.1.3.4 Geología estructural

La geología estructural estudia la disposición de los materiales como resultado de la dinámica que tiene lugar en el interior de la corteza terrestre (Diez, 2005). El comportamiento de los materiales de la corteza terrestre, cuando actúan los fenómenos dinámicos internos, depende de dos principales factores: Presión y Temperatura

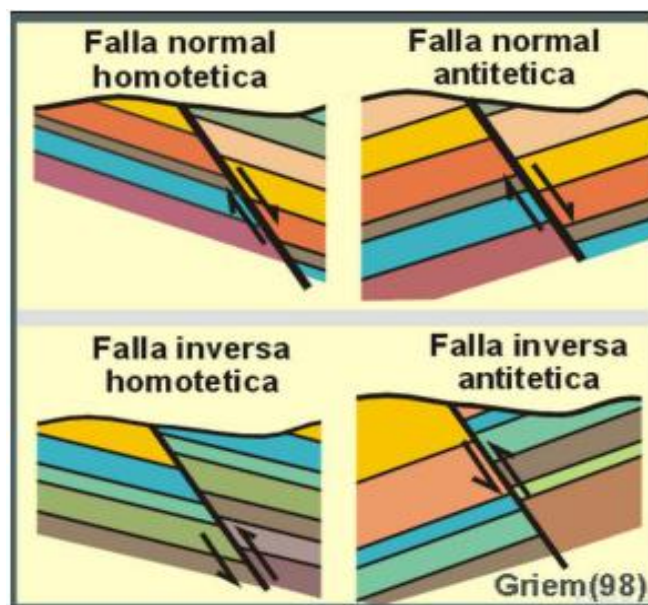


Figura 3-15 Estructuras geológicas – tipos de fallas

Fuente y elaboración: *Geología Estructural Virtual - W.Griem (1999-2015)*

Para el área de estudio se realizó un análisis inicial a escala regional de las condiciones geológico-estructurales, con el objetivo de identificar la distribución, intensidad y características de las estructuras tectónicas presentes. Según información del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE, 2017), la zona presenta sectores con distintos grados de deformación, clasificados como áreas con fallamiento escaso, moderado e intenso.

En este contexto, las principales estructuras regionales identificadas son la falla Portovelo–Zaruma y la falla Piñas–Portovelo:

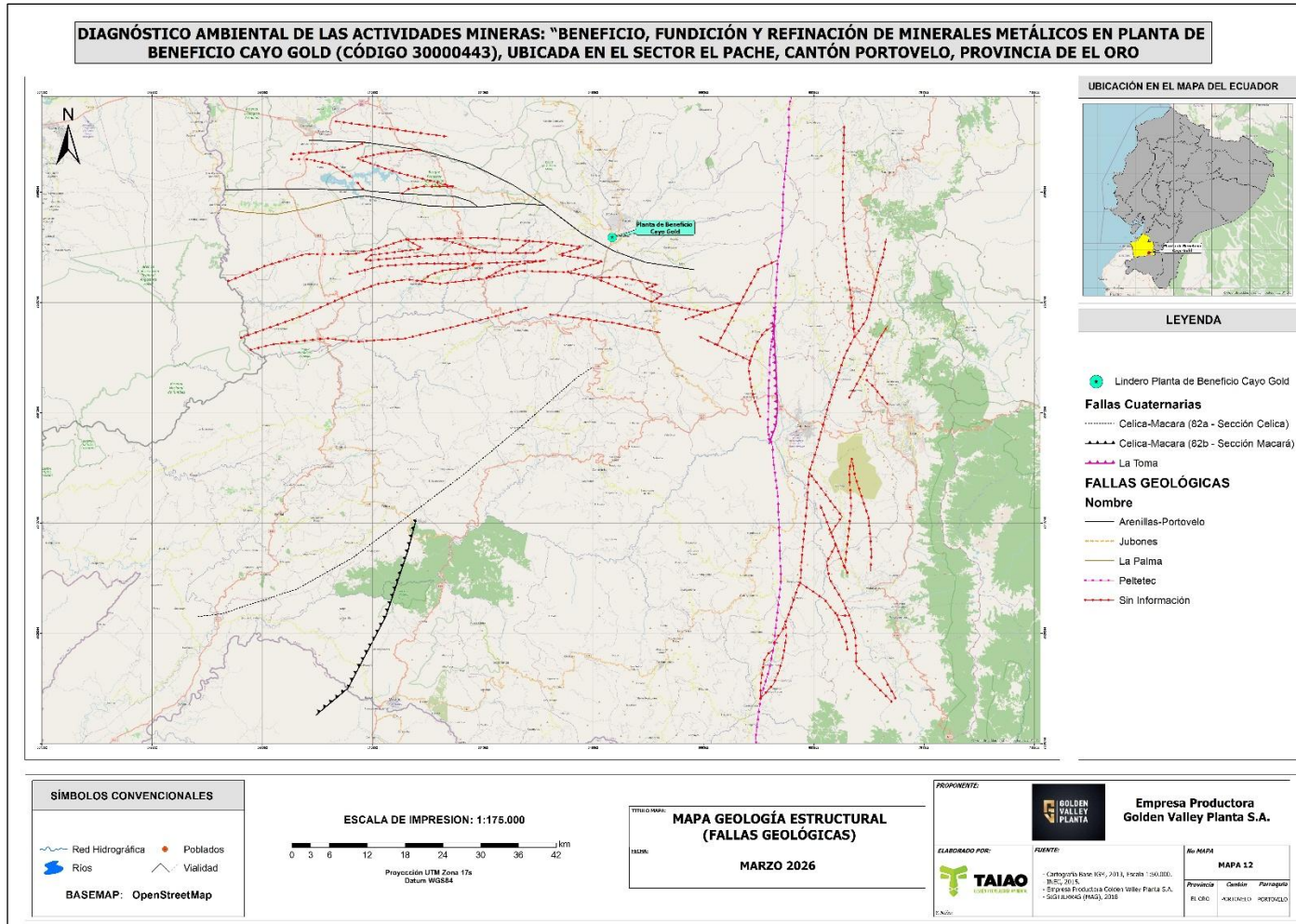
- ✓ **Falla Portovelo–Zaruma:** Aflora en la hoja geológica homónima y se prolonga hacia la hoja de Santa Rosa, generando el contacto entre las unidades metamórficas y las rocas volcánicas de la Formación Celica. En su entorno, las rocas presentan un marcado diaclasamiento, generalmente paralelo al rumbo estructural predominante, con rellenos frecuentes de cuarzo lechoso, evidencia de procesos hidrotermales.
- ✓ **Falla Piñas–Portovelo:** Posee orientación general este–oeste (E–O), extendiéndose desde el noroeste de Tahuin hasta el río Puyango, límite provincial entre El Oro y Loja. Constituye un elemento tectónico relevante en la configuración regional.

Con base en la Base de Datos y Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Ecuador (USGS), en el área de implantación de la Planta de Beneficio Cayo Gold no se registran fallas activas cuaternarias significativas, lo que indica condiciones de relativa estabilidad estructural a escala local. Entre las fallas cuaternarias más cercanas se destacan:

FALLAS	DESCRIPCIÓN
<p>EC-82 - Falla Celica-Macará</p>	<p>Relacionada con el basamento oceánico de la Cordillera Celica; longitud aproximada 73 km, rumbo N48°E ± 20°, formando lineamientos geológicos parcialmente ocultos. La tasa de deslizamiento es baja (<1 mm/año) y su actividad más reciente data del Cuaternario (<1,6 Ma).</p>
<p>EC-83 – Falla La Toma</p>	<p>Limita la Cuenca de Catamayo al oeste; longitud aproximada 21 km, rumbo N3°E ± 11°, con buzamiento hacia el oeste. Presenta escarpes irregulares, truncamiento de drenajes y actividad de tipo reverso, con desplazamientos muy lentos (<1 mm/año) y actividad cuaternaria reciente (<1,6 Ma)</p>

FUENTE: *Compilador, Afiliación y Fecha de Compilación: A. Eguez, A. Alvarado y H. Yepes; Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Geología e Instituto Geofísico; marzo de 1997 (Eguez et al. 2003, Recuperado de: <https://pubs.usqs.gov/of/2003/ofr-03289/OFR-03-289-text.pdf>).*

A escala local, mediante análisis cartográfico, se identificó que la **estructura geológica más próxima al proyecto** corresponde a la **falla Arenillas–Portovelo**, la cual constituye el principal elemento tectónico en el entorno inmediato. Esta falla, ubicada entre Arenillas y Portovelo (provincia de El Oro), es de tipo transcurrente oblicua con componente compresiva, orientada noreste–suroeste. Se encuentra segmentada, de considerable extensión, y controla la distribución de rocas y estructuras locales. Además, su importancia económica radica en que condiciona la formación de vetas mineralizadas de oro en la zona. Aunque no se considera de alta peligrosidad a nivel nacional, presenta actividad tectónica capaz de generar sismos locales.



Mapa 3-7 Mapa de fallas área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.3.5 Geología local

Para la descripción y análisis de la geología local se empleó información proveniente del Proyecto SIGTIERRAS, específicamente del mapa de Geología y Geomorfología a escala 1:25.000. A partir de este análisis se determina que el área donde se emplaza la planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443) se localiza sobre depósitos aluviales, los cuales se caracterizan por la presencia de materiales no consolidados como arenas, limos, arcillas y conglomerados, asociados a la dinámica de los cuerpos hídricos presentes en la zona.

Los depósitos aluviales corresponden a acumulaciones sedimentarias originadas por el transporte y posterior deposición de materiales por acción fluvial, principalmente en ríos y quebradas. Estos se generan cuando la energía del flujo disminuye, favoreciendo la sedimentación en ambientes como llanuras de inundación, terrazas aluviales, abanicos aluviales y deltas. Desde el punto de vista geotécnico y económico, estos depósitos presentan baja consolidación, alta variabilidad granulométrica y pueden albergar concentraciones de minerales de interés, como el oro.

3.1.3.5.1 Caracterización de Afloramientos.

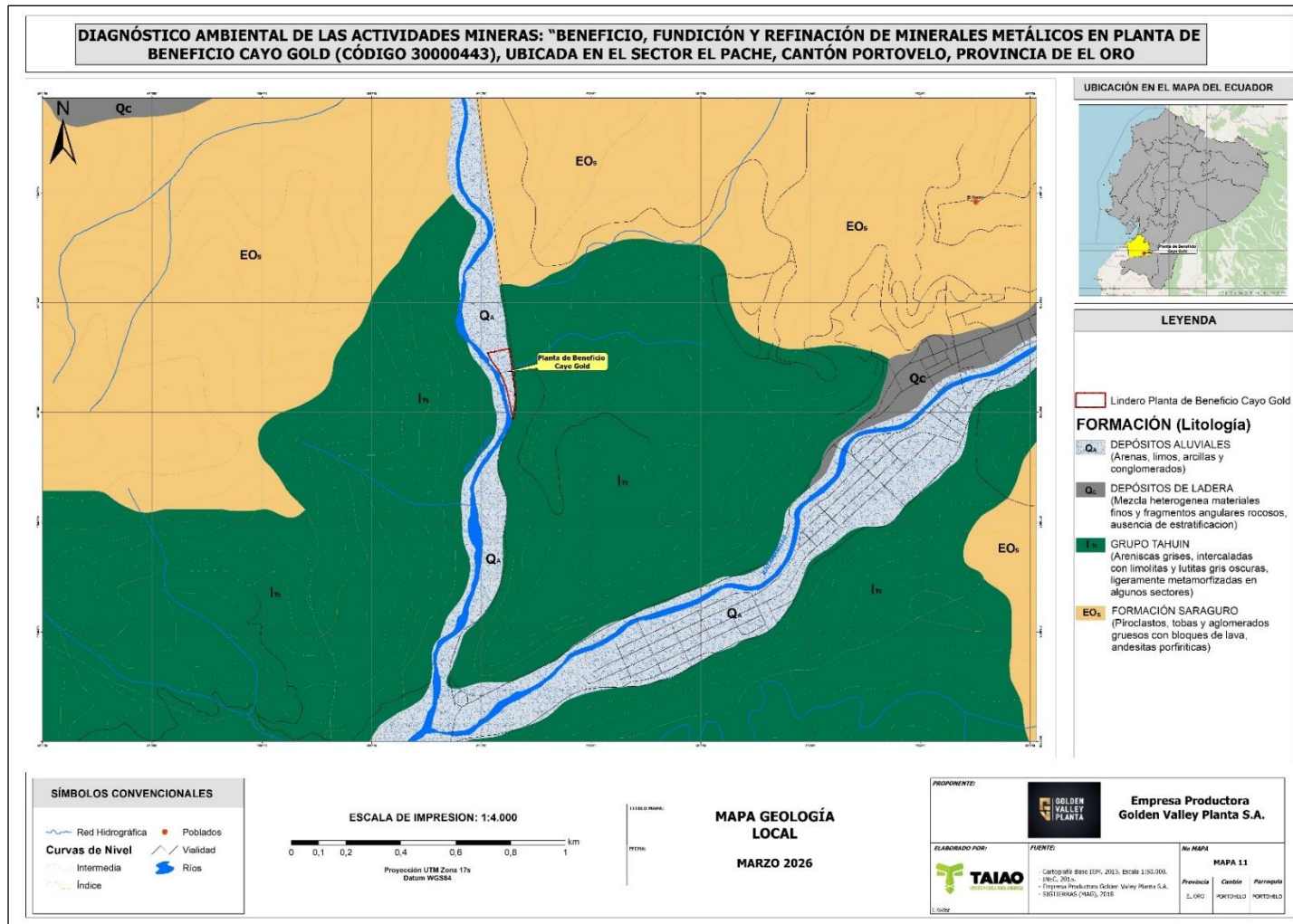
El área de estudio se caracteriza por presentar una morfología predominantemente plana a suavemente ondulada, con pendientes que oscilan entre el 2 % y el 5 %, lo que evidencia condiciones topográficas de baja energía y escasa variabilidad altimétrica. Esta configuración geomorfológica es típica de zonas de acumulación sedimentaria.

A pesar de su proximidad al cauce del río Calera, no se identifican sectores con pendientes pronunciadas ni evidencias de inestabilidad asociadas a procesos erosivos activos. Asimismo, no se observa la presencia de afloramientos rocosos, lo que sugiere un predominio de coberturas superficiales de tipo aluvial o coluvial, posiblemente constituidas por materiales no consolidados.



Figura 3-16 Zona de implantación Planta de Beneficio

Adicionalmente, se evidencia en el área de estudio un alto grado de intervención antrópica, asociado principalmente al desarrollo de actividades de carácter industrial. Estas intervenciones han implicado la modificación de las condiciones naturales del terreno mediante procesos de relleno y nivelación, orientados a la adecuación de superficies para infraestructura y operación.



Mapa 3-8 Geología Regional área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.3.6 Rasgos estructurales

En el informe 1, titulado: Geología de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3°00" y 4°00"S se determina que: *“los rasgos estructurales predominantes en el ámbito regional se localizan en el sector centro sur y se encuentran representados por un sistema de dos grandes fallas localmente conocidas: el Sistema de fallas Piñas - Portovelo y el sistema de falla Puente Buza - Palestina”*. *“El primer sistema es una falla de cabalgamiento, que se extiende 40 km, con un azimut aproximado de 295°. Un gran descenso en la parte norte (N) separa al Grupo Saraguro del Complejo Metamórfico de El Oro. Esta falla constituye también el límite sur (S) del sistema de vetas auríferas”* (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997).

El desplazamiento del Grupo Saraguro al Oeste (O) de Zaruma indica un salto vertical de al menos 3 km entre Piñas y Zaruma (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997). Mientras que al oeste (O) de Piñas la falla aparece con buzamiento alto entre Piñas y Salatí y al este (E) de Portovelo es un cabalgamiento con tendencia al sur (S), buzando al Norte (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997). La falla Puente Buza - Palestina, sigue un rumbo paralelo a la falla Piñas - Portovelo, con una extensión de aproximadamente 10 km.

En la zona de estudio no se ha podido determinar rasgos estructurales locales, debido a que las rocas aflorantes se encuentran muy meteorizadas y diaclasadas, las cuales cuentan con diferentes orientaciones 45/55, 325/69, 85/80, 340/73, 155/90.

3.1.3.7 Litoestratigrafía

La Planta de Beneficio Cayo Gold (cód. 30000443), conforme a la Hoja Geológica de Zaruma a escala 1:100.000 (IIGE, 2017), se emplaza sobre el denominado cinturón metamórfico del oro, el cual constituye el basamento geológico más antiguo de la región, con edades comprendidas entre el Paleozoico y el Mesozoico. Este basamento está conformado por rocas de origen sedimentario y volcánico que han sido sometidas a procesos de metamorfismo, dando lugar a litologías predominantes como esquistos, filitas y cuarcitas.

Sobre este basamento se disponen unidades volcánicas correspondientes a la Formación Celica de edad cretácica, caracterizadas por la presencia de andesitas, basaltos y tobas volcánicas, las cuales evidencian un ambiente geodinámico asociado a un arco volcánico. Estas unidades han sido posteriormente afectadas por eventos magmáticos, manifestados en la intrusión de cuerpos ígneos de composición intermedia, principalmente dioritas y granodioritas.

La interacción entre estos procesos magmáticos e hidrotermales ha favorecido el desarrollo de zonas de alteración y mineralización, particularmente de tipo aurífero, ampliamente reconocidas en el distrito minero de la zona. Finalmente, en sectores topográficamente más bajos, como valles y llanuras, se identifican depósitos cuaternarios de origen aluvial, compuestos principalmente por gravas, arenas y limos, los cuales recubren de manera discontinua las unidades geológicas subyacentes.

3.1.3.8 Sismicidad

Para establecer los parámetros sísmicos de la zona se utilizó el informe sísmico del año 2024 provisto por Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (Ver anexo XX. Informe sísmico 2024).

Para el Ecuador, las fuentes sísmicas se han clasificado como: fuentes de la interfaz, fuentes corticales y fuentes del slab o de profundidad intermedia (Yepes et al., 2016; Beauval et al., 2018).

Sismicidad en las fuentes de interfaz: La interfaz corresponde a la zona de contacto entre la placa oceánica de Nazca que choca y se introduce (o se subduce) por debajo del continente y de manera particular en el Ecuador, por debajo de los bloques (slivers) Andino e Inca (IGEPN, 2024).

La zona del proyecto no se encuentra dentro de ningún área expuesta a fuentes sísmicas de interfaz como se muestran a continuación:

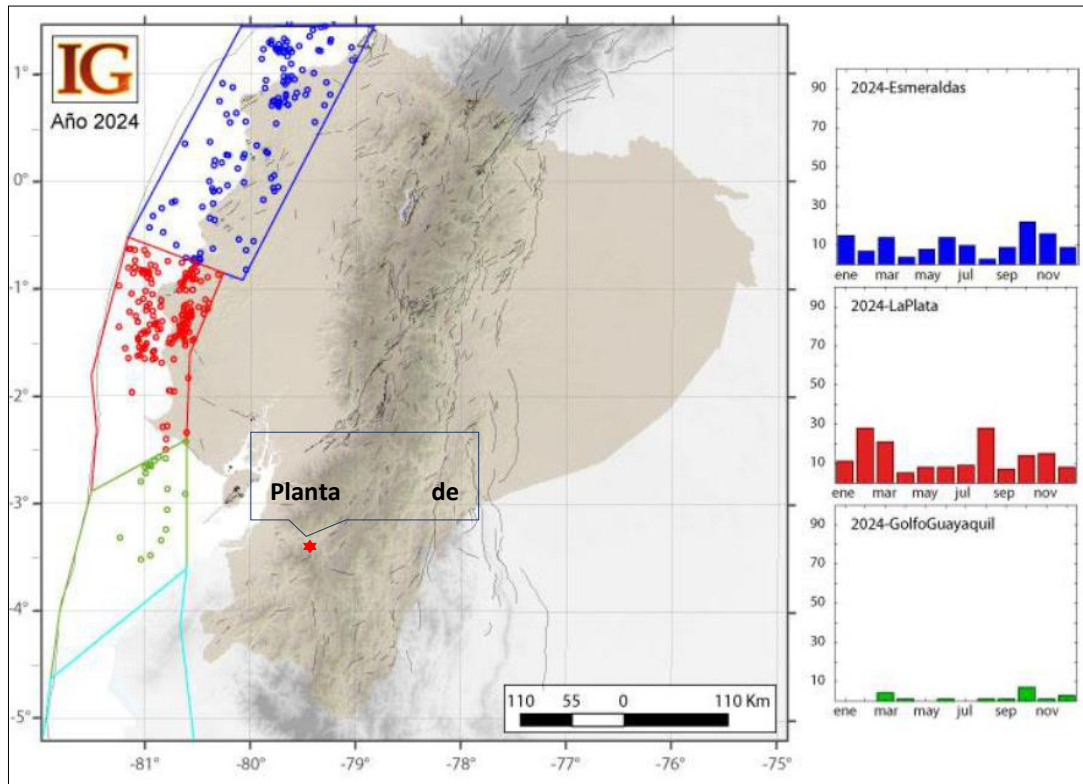


Figura 3-17 Fuentes sísmicas de interfaz
 Fuente y elaboración: IGEPN, 2024

Sismicidad en las fuentes corticales: Las fuentes corticales según Yepes et al. (2016) y Beauval et al. (2018) comprenden:

- ✓ El sistema principal de fallas que limita el Sliver Norandino (NAS) y la zona estable de Sudamérica con los segmentos de Puná, Pallatanga, Cosanga y Chingual (PPCC; Alvarado, 2012; Alvarado et al., 2016),
- ✓ Los sistemas de fallas inversas Quito-Latacunga (UIO-Lat).
- ✓ El sistema de fallas de rumbo de El Ángel,
- ✓ Las fallas que definen el levantamiento y los pliegues en la zona subandina: Napo y Cutucú,
- ✓ Dos fuentes adicionales que engloban la sismicidad dispersa o de background fuera de las fallas principales: BGN (Background Norte) que comprende la zona de las cuencas de la costa al norte del límite NAS-Sudamérica y BGS (Background Sur), al sur de este límite.
- ✓ En este grupo se incluye también la sismicidad que puede ocurrir en la corteza oceánica –Placa Nazca antes de entrar en subducción; a esta fuente se la denomina pre-fosa.

La zona del proyecto minero pertenece a la zona sísmica cortical BGS con un rango de eventos sísmicos de 0 - 35 km desde la superficie y en el año 2024 registró un número total de 29 eventos sísmicos con una magnitud promedio de 2.58 y un sismo con una intensidad máxima registrada de 3.94 situándose en una zona sísmica, pero de baja intensidad.

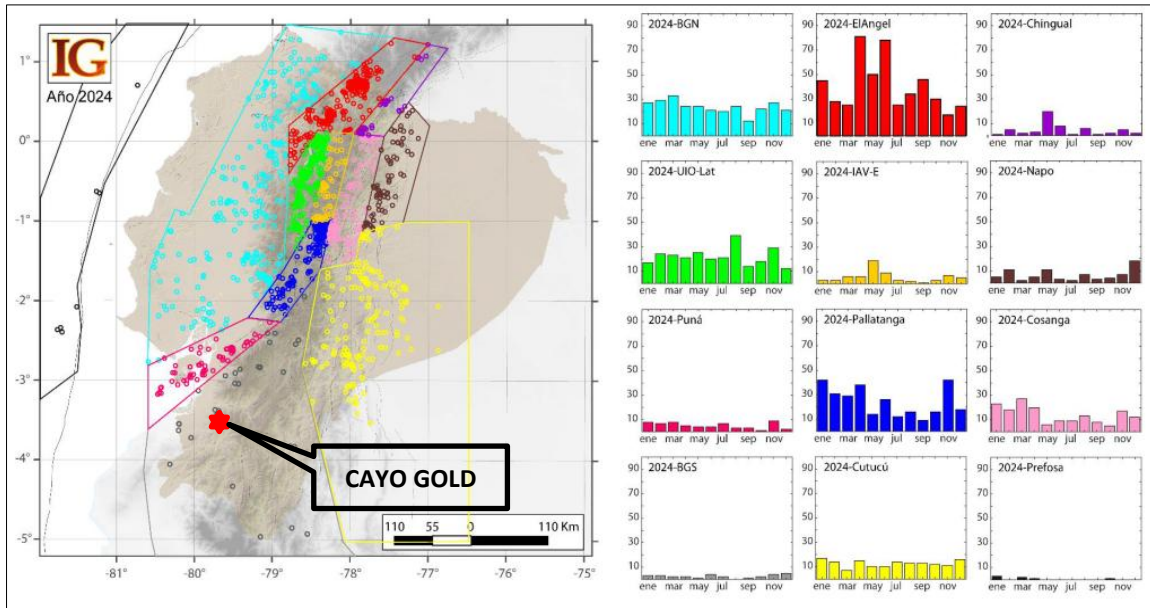


Figura 3-18 Fuentes sísmicas corticales

Fuente y elaboración: IGEPN, 2024

Sismicidad en las fuentes del slab: Las fuentes del slab se definen como volúmenes a diferentes profundidades con el fin de englobar el slab o placa oceánica en subducción bajo el continente.

La zona del proyecto pertenece a la zona de Loja con un rango de eventos sísmicos de 35 – 100 km desde donde en el mismo año registró 230 eventos con una magnitud promedio de 2.81 y un sismo con una intensidad máxima registrada de 5.39.

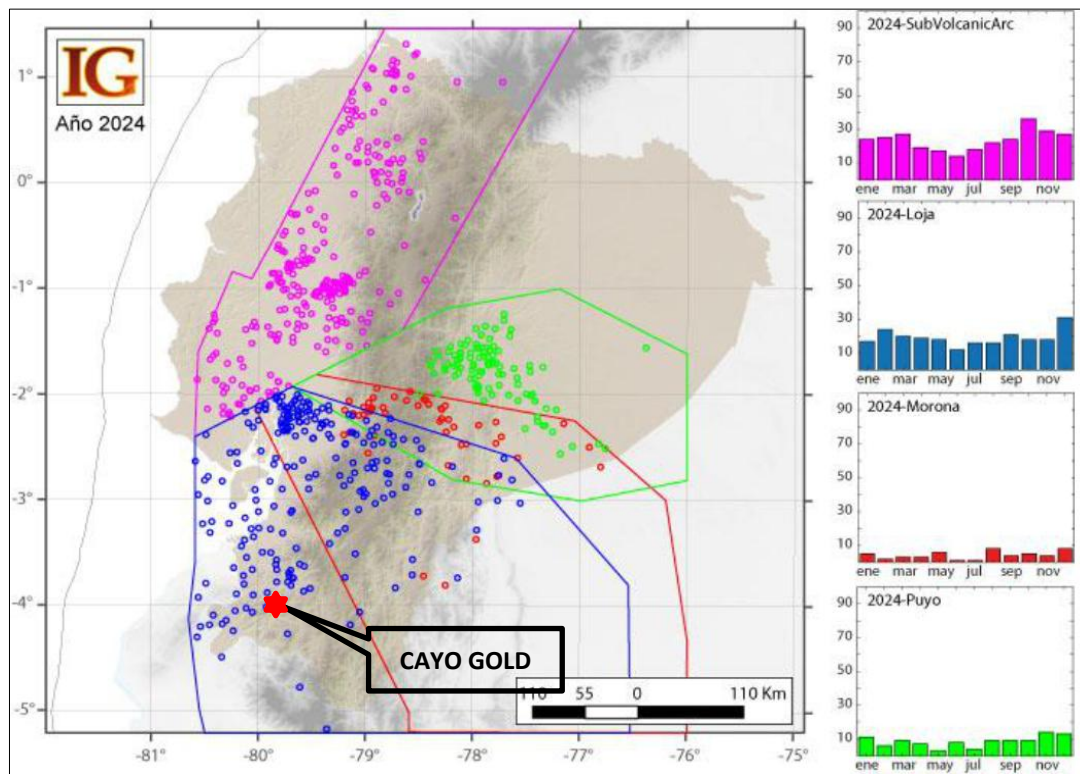


Figura 3-19 Fuentes sísmicas de slab



Fuente y elaboración: IGEPN, 2024

Con este análisis se puede evidenciar que el proyecto está emplazado sobre una zona que presenta eventos sísmicos relevantes. De conformidad con la Norma Técnica Ecuatoriana de la Construcción la NEC-15 la zona aparece como una zona con una alta amenaza sísmica con una consideración de factor de seguridad ($F_s = 0.35$) para considerar en cualquier construcción civil.

3.1.3.9 Geotecnia

La caracterización geotécnica del área donde se implanta la Planta de Beneficio Cayo Gold se fundamenta en la unidad litoestratigráfica dominante del sector El Pache y la respuesta mecánica de sus suelos residuales. El área de estudio se localiza sobre la **Unidad Portovelo**, la cual está constituida por una secuencia volcánica de andesitas y dacitas con diversos grados de alteración hidrotermal y meteorización superficial (Pratt & Erazo, 1991).

3.1.3.9.1 Caracterización de Suelos y Rocas (Metodología ASTM D2488)

La identificación de los materiales de cobertura se realizó mediante el procedimiento de descripción manual-visual siguiendo los criterios de la norma **ASTM D2488** (*Standard Practice for Description and Identification of Soils*). Como se observa en la **Figura 3-20**, se ejecutó la prueba de plasticidad mediante la formación de rollos o cilindros de suelo de aproximadamente 3 mm de diámetro.

De acuerdo con la respuesta del material (formación de cilindros de consistencia firme, alta tenacidad y reacción lenta a la dilatancia), se clasifica el suelo dentro del **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)** como **Limos Elásticos (MH)** o **Arcillas de Alta Plasticidad (CH)**. Estos suelos residuales presentan una cohesión intrínseca que les otorga una capacidad portante adecuada para las cargas transmitidas por la cimentación de la planta, siempre que se mantengan los sistemas de drenaje operativos.

3.1.3.9.2 Sustento Litológico e Implantación

En el perfil estratigráfico expuesto en el área de estudio (ver fondo de la Figura 3-20), se identifica, bajo la capa de suelo residual, un horizonte de rocas volcánicas cretácicas, correspondientes a la Formación Celica. Esta unidad se caracteriza por una matriz competente de andesitas meteorizadas, ocasionalmente con fragmentos de roca angulosos, lo que le confiere un estrato de alta resistencia mecánica. Localmente, estas rocas se encuentran recubiertas por depósitos aluviales recientes, compuestos por gravas, arenas y limos, que constituyen la cobertura superficial del área de implantación.

La planta de beneficio se encuentra implantada directamente sobre este horizonte de roca competente/suelo firme, lo que garantiza la **ausencia de subsidencias** (asentamientos) significativos. Respecto a la cercanía con el cuerpo hídrico, la infraestructura se localiza en una terraza estable cuya cota de implantación y distancia horizontal respecto al cauce del río previenen procesos de erosión remontante o socavación que comprometan la integridad de las obras civiles.

(Nota: Se adjunta como Anexos/ Anexo B – Medios de verificación – 16 el Permiso de Construcción emitido por la autoridad competente, el cual certifica la viabilidad técnica y estructural del sitio de implantación).



Figura 3-20 Evidencias Tipos de suelos área de estudio

3.1.3.10 Conclusiones del componente geológico

- En el contexto de la geología regional, asociado a información existente del Instituto de Investigación Geológico Energético (IIGE), el área de la planta de beneficio se encuentra localizada entre la unión de las formaciones geológicas Unidad La Bocana, del Complejo Granitoide Moromoro, con litologías predominantes de granodioritas, migmatitas y paragneises y la formación Volcánicos Saraguro, formado por rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolitas.
- En el contexto geodinámico, la ubicación geográfica del Ecuador lo posiciona en el proceso de subducción que ha sido el principal modelador y generador de la estructura y fenómenos que ocurren en el país.
- Con respecto a la geología estructural, el área de estudio se encuentra al suroeste de la Cordillera Occidental, en la provincia de El Oro, dentro del distrito minero Zaruma – Portovelo. El distrito se encuentra limitado por las fallas Piñas – Portovelo y Palestina Puente Buza, consideradas como parte de los principales componentes estructurales del sur del país (Pratt et al., 2005).
- En cuanto a la geología local, en base a la información existente del Proyecto SIGTIERRAS, la Planta de Beneficio se encuentra ubicada sobre depósitos aluviales, con la predominancia de materiales no consolidados, tales como arenas, limos, arcillas y niveles de conglomerados, los cuales evidencian un origen asociado a procesos de transporte y sedimentación fluvial, sin la existencia de afloramientos rocosos.
- En cuanto a la litoestratigrafía, la zona de emplazamiento del área de estudio se caracteriza por la existencia de un basamento metamórfico antiguo, cubierto por rocas volcánicas cretácicas (Formación Celica), afectadas por intrusivos ígneos y estructuras tectónicas, recubiertas localmente por depósitos aluviales recientes
- En cuanto a la sismicidad, el proyecto está emplazado sobre una zona con eventos sísmicos



relevantes, no obstante, y en comparación con el perfil costanero donde se han registrado sismos de gran intensidad, la zona de estudio cuenta con riesgo medio respecto de la Norma Técnica Ecuatoriana de la Construcción la NEC-15.

- En cuanto a la geotecnia, se debe puntualizar que la Planta de Beneficio de Cayo Gold ya está construida, en una zona altamente alterada, la cual presenta Estudios de Suelo, los cuales son de tipo arcilloso principalmente

3.1.4 Hidrogeología

3.1.4.1 Metodología

La recopilación hidrogeológica ha considerado la información cartográfica oficial de SENAGUA & INAMHI, 2015, escala 1:250 000, además, considerando la información edafológica y de drenaje del sector se determinó la dinámica del agua dentro del área de estudio.

3.1.4.2 Descripción

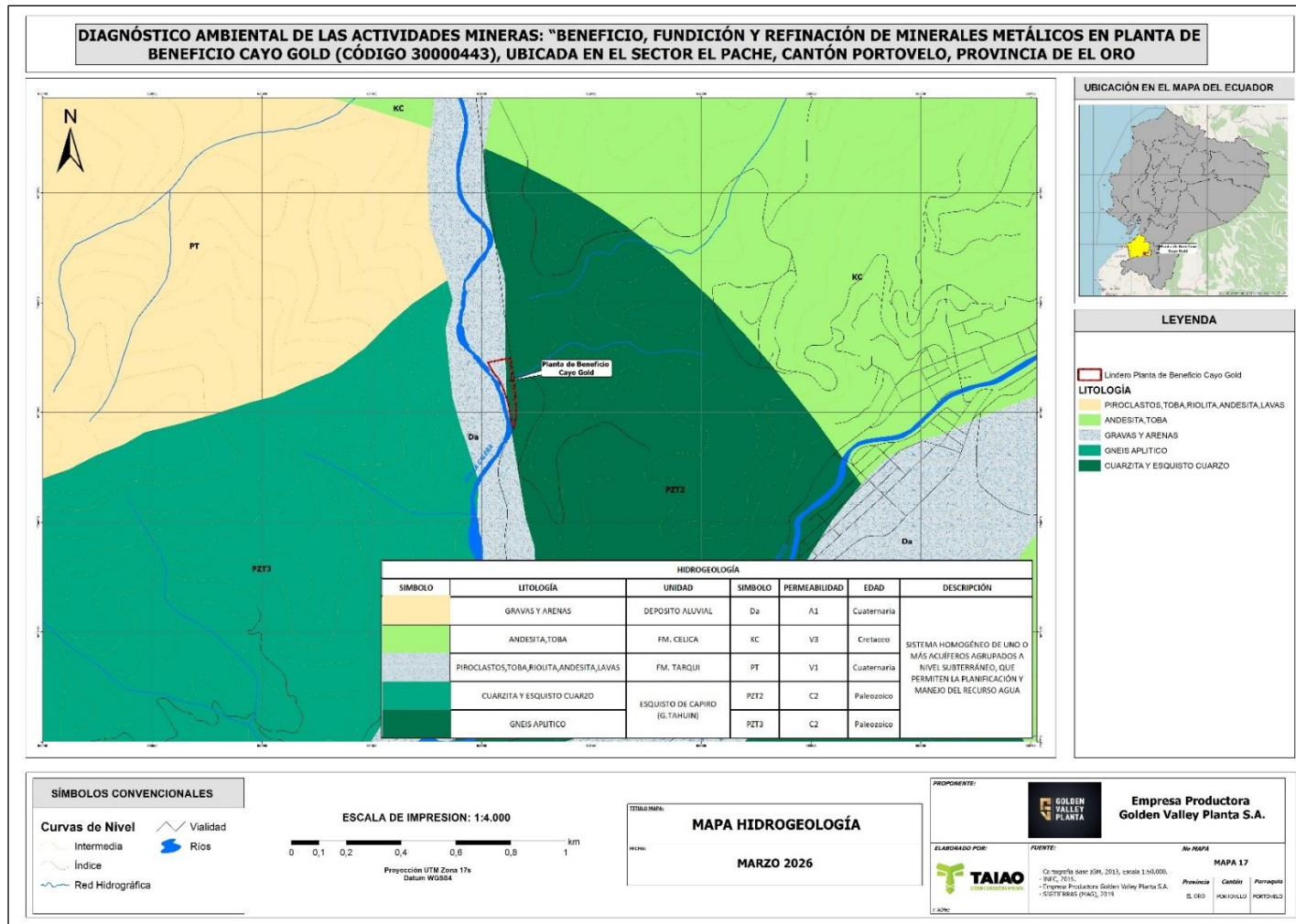
En el país existen 18 unidades hidrogeológicas conceptualizadas como medios acuíferos continuos que tienen un grado de homogeneidad, siendo unidades naturales de planeamiento y gestión de recursos hídricos. Cada una de estas presentan una caracterización básica de los elementos: geometría, heterogeneidad geológica, productividad acuífera, piezometría, profundidad del agua, calidad química, recarga media interanual.

En la región Costa posee 9 unidades hidrogeológicas, las cuales son:

- Cabo San Lorenzo
- Esmeraldas
- Chone-Calceña
- Guayas
- Machala
- Portoviejo
- Santa Elena
- Cojimíes
- La Concordia

Según el mapa hidrogeológico del Ecuador escala 1:1'000.000 elaborado por el INAMHI y la Exdirección General de Geología y Minas (DGGM), la zona de estudio se ubica en la Unidad Hidrogeológica Machala, en un área con acuíferos prácticamente ausentes en rocas intrusivas y efusivas, comprendiendo principalmente granitos, granodioritas, riolitas y rocas metamórficas masivas que, constituyen rocas con posibilidades hídricas muy escasas o prácticamente impermeables. El agua proveniente de las lluvias se infiltra directamente en el terreno, saturando los poros y grietas existentes. Parte del agua que penetra desde la superficie es retenida por las rocas y materiales de la corteza, productos que frenan u obstaculizan su descenso.

Debido a las características de los depósitos aluviales, su funcionamiento hidráulico, y la existencia del Río Calera, se puede determinar que el acuífero es de tipo libre. La única consideración funcional de estas litologías sería la de servir como confinamiento del acuífero de los depósitos aluviales y relacionado al río.



Mapa 3-9 Hidrogeología en el área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.5 Geomorfología

En el presente estudio se adoptó como base bibliográfica el análisis geomorfológico contenido en las Memorias Técnicas del Proyecto “Levantamiento de cartografía temática a escala 1:25.000”, desarrollado por SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2015). Esta información fue complementada mediante la recopilación de datos en la fase de campo, a través de la observación directa y caracterización de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

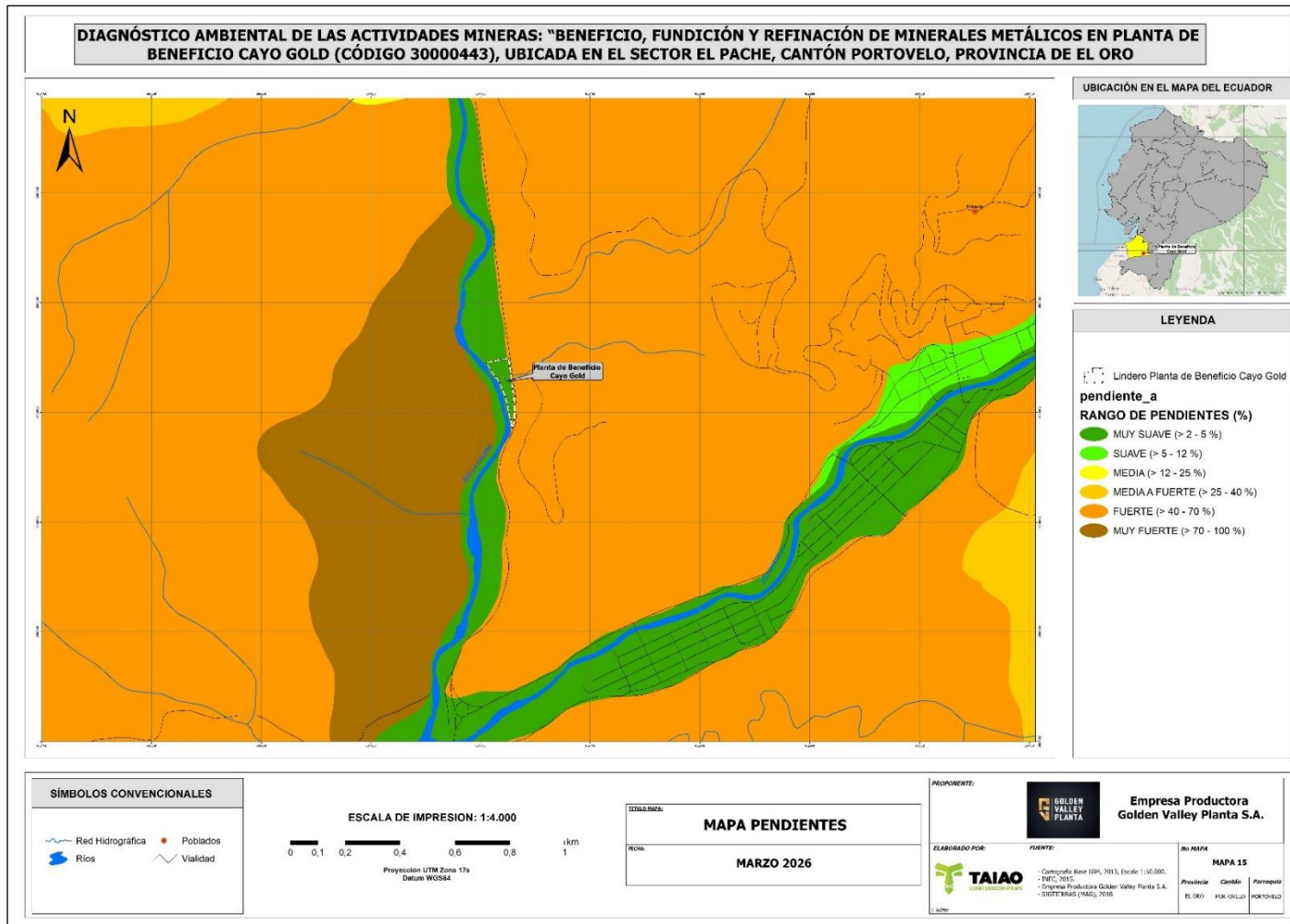
Durante el trabajo de campo se evaluaron parámetros morfométricos y morfológicos tales como el relieve, la forma de las cumbres, altitud, curvas de nivel, tipos de pendiente, red de drenaje, presencia de quebradas y cobertura vegetal, lo cual permitió una caracterización integral del entorno físico.

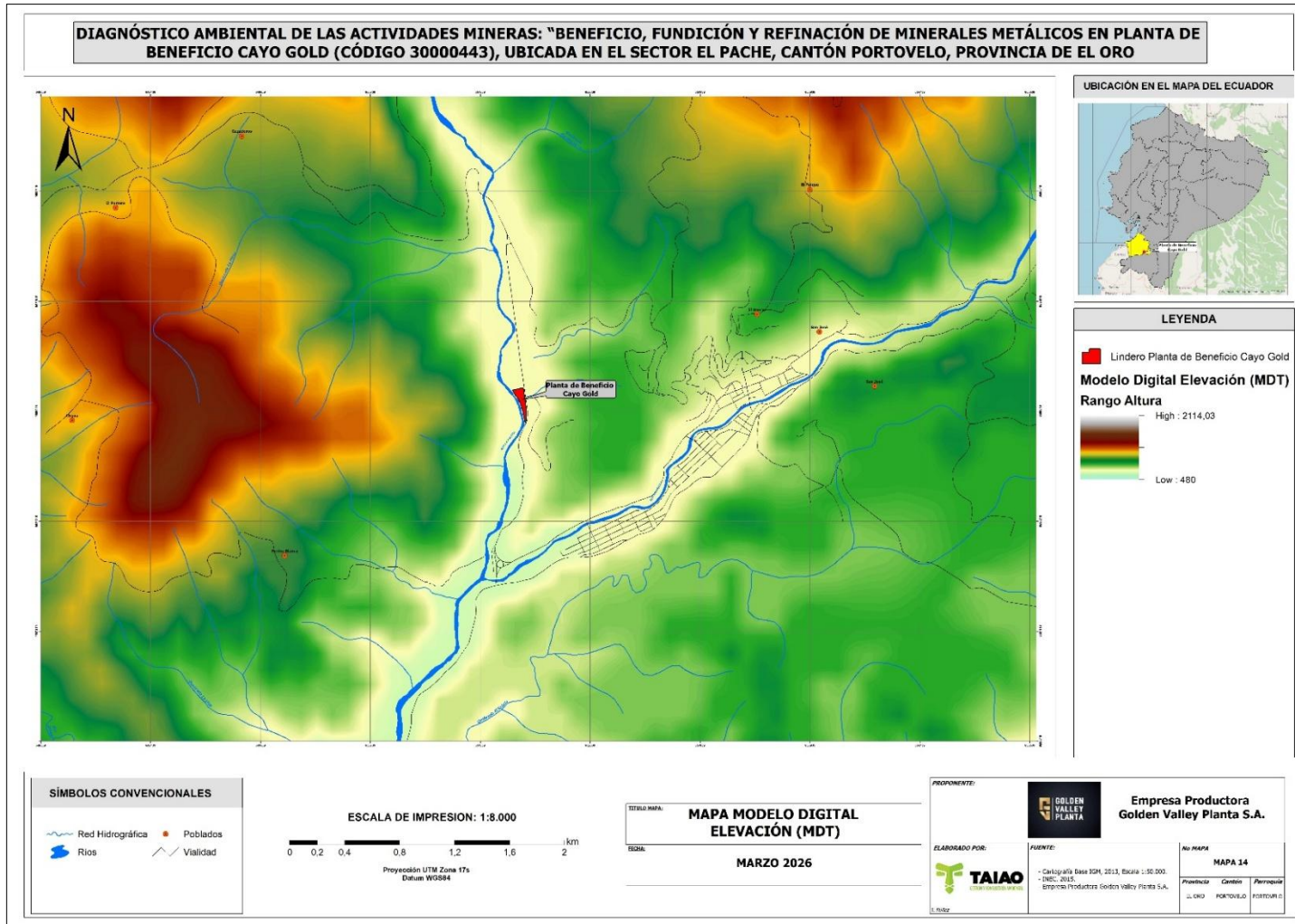
La fase de campo permitió además la correlación y validación de la información previamente analizada en gabinete, facilitando el ajuste y precisión de los datos geomorfológicos. Como resultado, se elaboró un informe preliminar que proporciona una descripción detallada y específica de las condiciones geomorfológicas del área de implantación de la planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

3.1.5.1 Pendientes

La superficie ocupada por la Planta de Beneficio Cayo Gold (cód. 30000443) se caracteriza por un relieve de pendientes muy suaves, comprendidas entre el 2 % y 5 %, con una cota de elevación aproximada de 640 msnm. Estas condiciones topográficas la clasifican como una zona deprimida, probablemente influenciada por la proximidad del río Calera al occidente del área, cuyo caudal durante la temporada invernal puede ser significativo.

La presencia del río contribuye a la configuración del terreno mediante procesos de erosión diferencial y sedimentación localizada, lo que acentúa la depresión observada y determina características particulares en la morfología superficial y en la dinámica de los depósitos aluviales asociados.





Mapa 3-11 Modelo Digital de Elevación en el área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

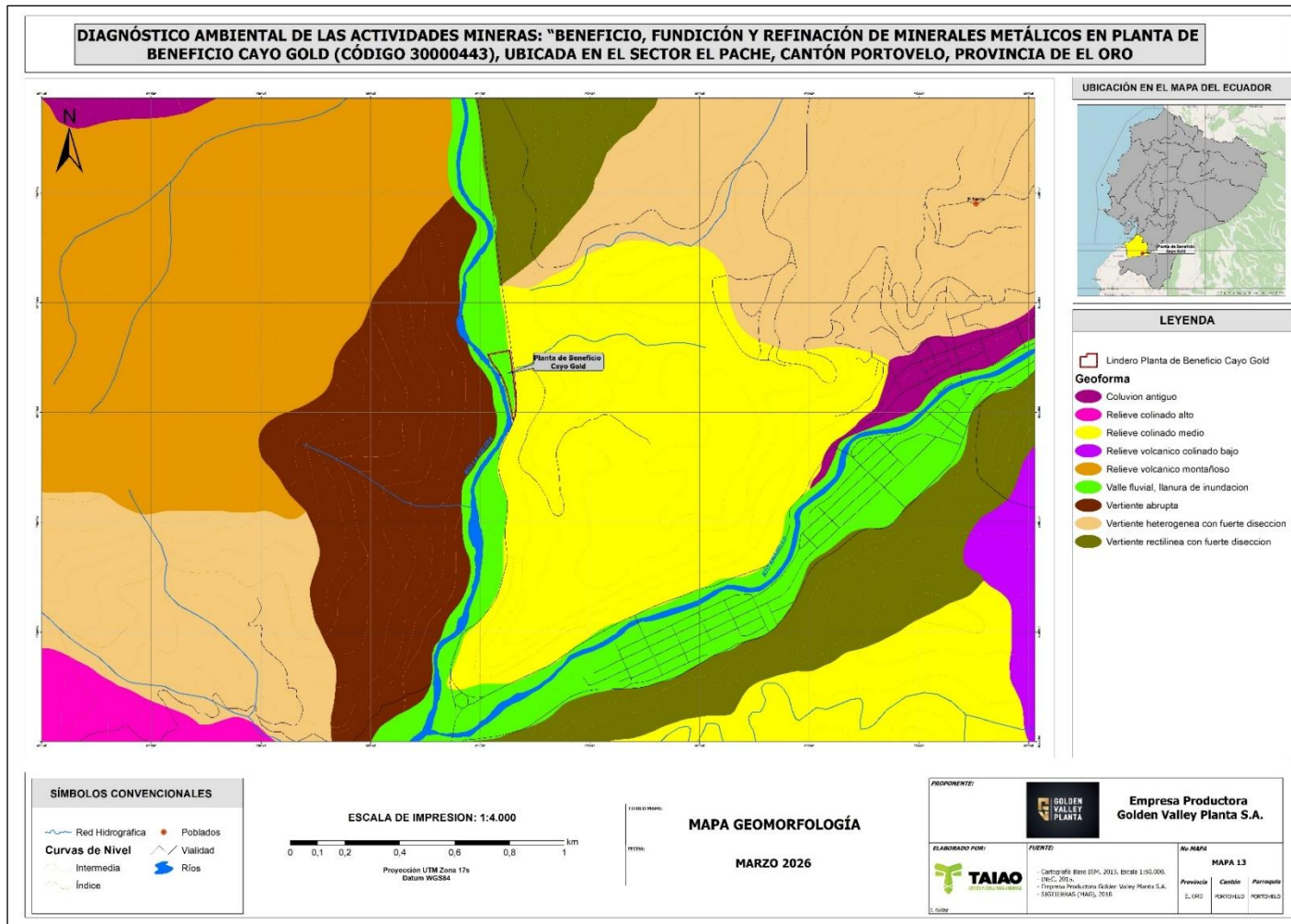
3.1.5.2 Geomorfología local

Según la información proveniente del Proyecto SIGTIERRAS, específicamente del “Levantamiento de Cartografía Temática a escala 1:25.000”, la Planta de Beneficio Cayo Gold, incluida toda su infraestructura, se encuentra emplazada sobre una geoforma de tipo valle fluvial, correspondiente a una llanura de inundación.

Esta geoforma se caracteriza por presentar un relieve **plano a suavemente ondulado**, con pendientes muy suaves, suelos recientes de origen aluvial y materiales poco consolidados como gravas, arenas y limos. Además, estas áreas suelen estar asociadas a procesos de sedimentación activa durante episodios de crecida fluvial, manteniendo condiciones de humedad relativa elevada y una red de drenaje densa, pero de escasa pendiente. La configuración geomorfológica y la composición de los sedimentos indican una alta capacidad de acumulación de materiales transportados por el río, lo que influye directamente en la estabilidad superficial y en la aptitud del terreno para la implantación de infraestructura.



Figura 3-21 Evidencias llanura de inundación Planta Cayo Gold



Mapa 3-12 Características geomorfológicas sobre la superficie ocupada por planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.5.3 Conclusiones del componente geomorfológico

- ✓ En el caso de las Pendientes, el área de implantación de la planta de beneficio posee un relieve de pendientes muy suaves (2% al 5%), lo que sitúa al proyecto en una condición de horizontalidad predominante a una cota de 640 msnm.
- ✓ La Planta de Beneficio Cayo Gold, se encuentra sobre una Geoforma de Valle Fluvial – llanura de inundación. La morfología del sitio está vinculada a la acción del Río Calera al occidente, el cual actúa como agente de erosión diferenciada, especialmente durante los periodos de invierno, influyendo directamente en la depresión del relieve local.

3.1.6 Edafología

Para el levantamiento de información se partió de la recopilación de la bibliográfica en base a fuentes oficiales, considerando la cobertura vegetal y uso del suelo del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica y de la edafología levantada por SIGTIERRAS.

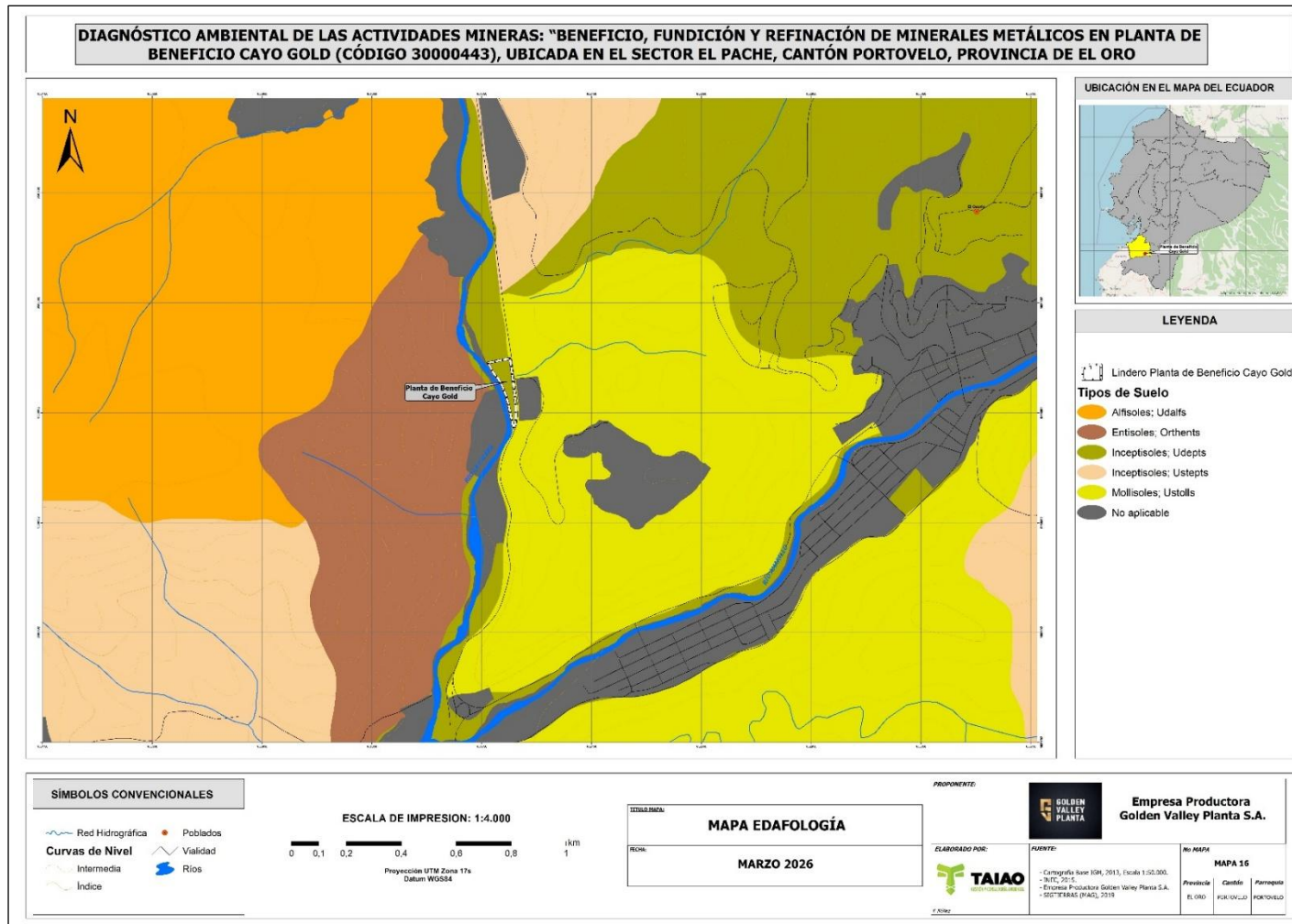
3.1.6.1 Tipo de suelos

Andisol es el orden edafológico mayormente ocupado en el cantón Portovelo; se trata de suelos relativamente jóvenes de origen volcánico (ceniza, vidrio, piedra pómez, lava u otros) caracterizados por la presencia de materiales de fácil alteración, como los aluminosilicatos, que forman principalmente alofano, imogolita o complejos metal - humus. Las características distintivas son la densidad aparente menor a $0,9 \text{ g/cm}^3$ y la retención de fosfatos u otros elementos igual o mayor al 85 % dentro de al menos los 60 cm superiores del suelo (GADM Portovelo, 2020).

Respecto del área ocupada por planta de beneficio Cayo Gold se advierte un suelo parcialmente impermeabilizado, incluso sus revelaras son de hormigón con profundidades cercanas a los 3 m, teniendo como referencia de su nivel freático la presencia del río Calera (referirse a registro fotográfico 5.1). Aun así y en base a su mapa edafológico (referirse a mapa 5.9) se identificaron dos órdenes e:

Inceptisol, ocupa la mayor proporción, corresponde a suelos jóvenes con un débil, pero notable grado de desarrollo del perfil, que presentan ya sea un epipedón úmbrico o un horizonte cámbico, el subgrupo específico es *dystric fluventic eutrudepts*, de génesis fluvial, a partir de lo cual forma depósitos aluviales constituidos de arenas, limos, arcillas y conglomerados de textura arcillo - arenosa, poseen una buena disponibilidad de calcio, potasio y magnesio, moderada en cuanto a fósforos y pobre en microelementos con excepción del molibdeno; neutros o ligeramente alcalinos (> 6,5 - 7,5) con dominancia de calcio y potasio en el complejo de cambio, razón por la que son considerados saturados.

Molisol, ocupando una mínima superficie, refiere al suelo de colores oscuros (firmes a friables), ricos en compuestos orgánicos superficiales (epipedón mólico), con tendencia natural fértil y una alta saturación de bases (GADM Portovelo, 2020), en Cayo Gold el subgrupo es *vertic argiustolls* cuya génesis es tectónica - erosiva conformando un relieve relativamente colinado con areniscas grises, intercaladas con limonitas y lutitas gris - oscuras, ligeramente metamorfozadas de textura arcillosa, tienden a no drenar bien, a compactarse con facilidad; y a una moderada capacidad de intercambio catiónico con dominancia de calcio y sodio en el complejo de cambio.



Mapa 3-13 Características edafológicas en área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.6.2 Cobertura vegetal y uso actual del suelo

La planta de beneficio se encuentra enclavada en un áreas con características industriales, en las afueras de la zona poblada de Portovelo.



Figura 3-22 Actividades desarrolladas en el sector El Pache, Portovelo.



Figura 3-23 Plantas de beneficio colindantes.



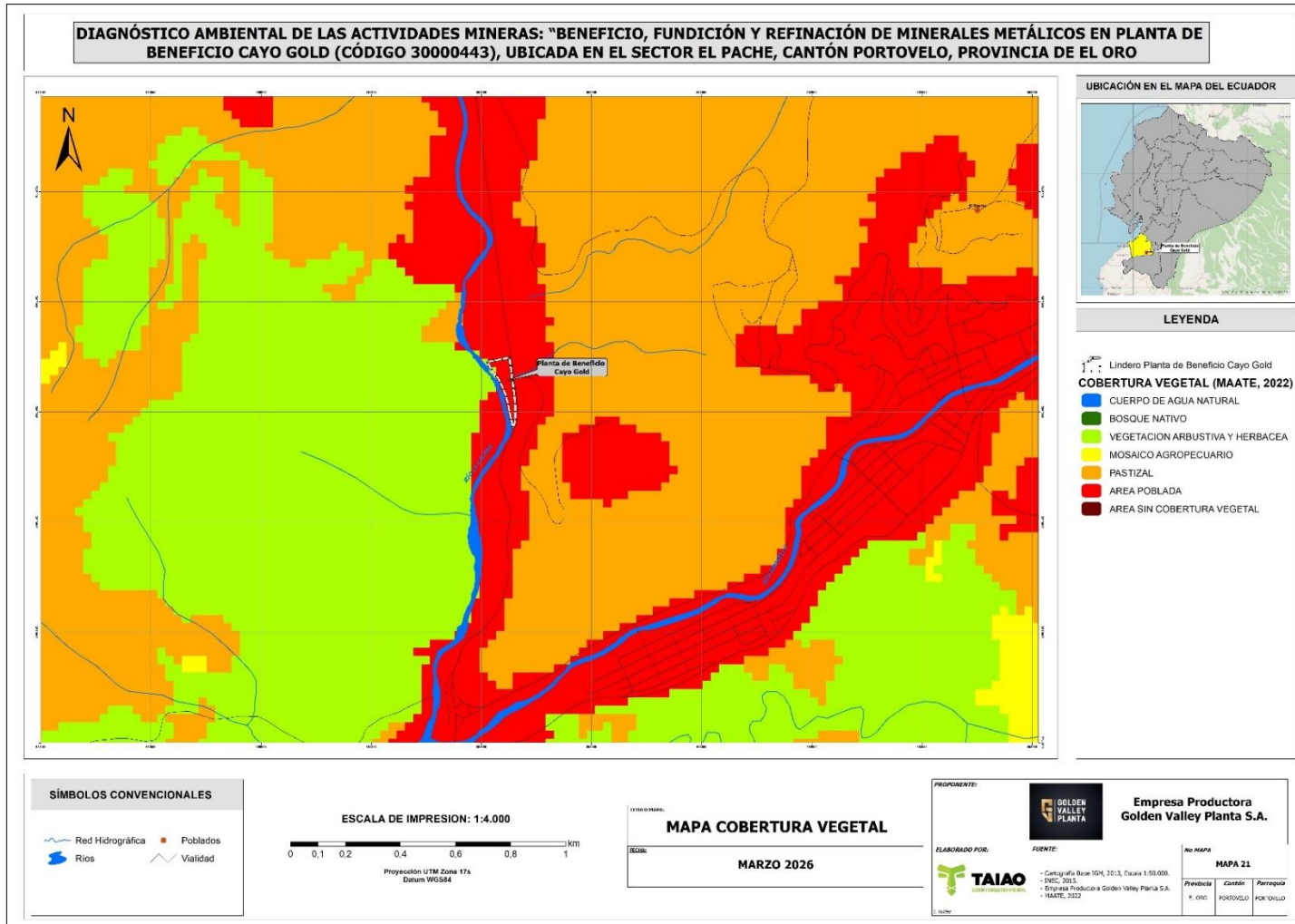
Figura 3-24 Tránsito vehicular.

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

La determinación de la cobertura vegetal y uso del suelo para el área de estudio se lo realizó con base en el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2022), mismo que clasifica a las coberturas (Nivel II) como se detalla a continuación:



- **Zona antrópica:** Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos. (MAE-MAGAP-IEE, 2012)
- **Tierra agropecuaria:** Área bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran dentro de una rotación entre éstos. (MAGAP – IEE, 2012)
- **Vegetación arbustiva:** Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no. MAE (2011)
- **Cuerpo de agua (natural):** Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento. (MAE-MAGAP-IEE, 2012)



Mapa 3-14 Cobertura vegetal y uso actual de suelo en área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026



3.1.6.3 Calidad del suelo

Respecto de la caracterización de la calidad del suelo, se llevó a efecto el análisis de laboratorio por parte de (Grüentec Cia. Ltda, laboratorio acreditado por el SAE) a fin de obtener un diagnóstico físico - químico.

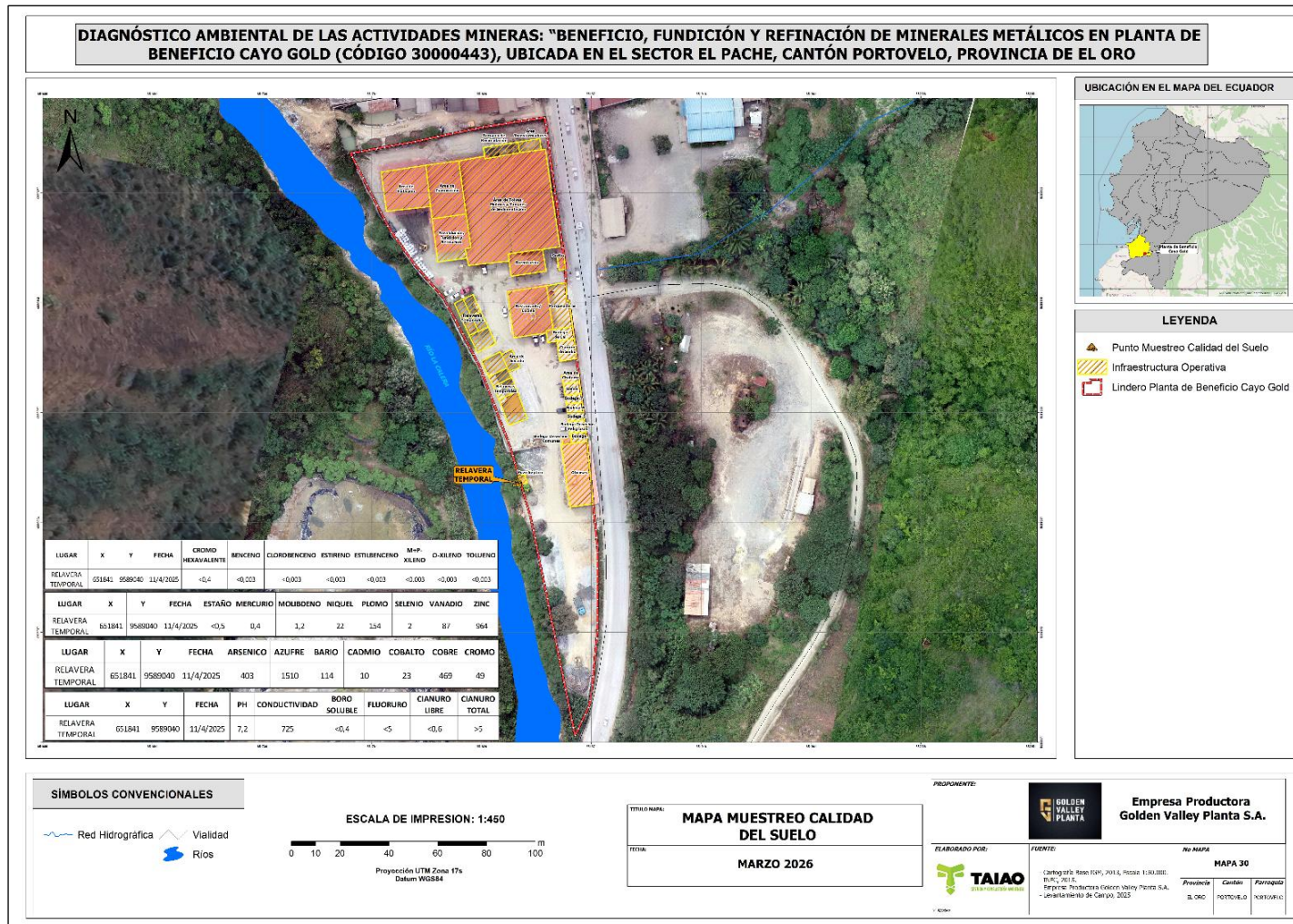
El sitio de muestreo se estableció tomando en consideración aquellas actividades con mayor probabilidad de incidencia sobre el medio terrestre. Durante el trabajo de campo se tomó la coordenada del punto de muestreo.

Los datos de calidad edafológica fueron tabulados y comparados con la normativa ambiental vigente, en este caso, TULSMA (A.M. 097-A), Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, tabla 1. A partir de dicho informe se lograron evaluar las características físico - químicas de los suelos cercanos a la relavera de almacenamiento temporal.

3.1.6.3.1 Metodología

Con fecha 14 de abril del 2023 y 11 de abril del 2025, se tomó y georreferenció el punto de la muestra en el suelo Cayo Gold (cercano a la zona de relaveras de almacenamiento temporal de los desechos mineros). Se cavó una profundidad de aproximadamente 1 m, y utilizando un recipiente de plástico (1000 ml) previamente seleccionado y esterilizado, se llenó completamente, a fin de evitar cantidades de oxígeno en el recipiente, que pudiesen alterar las condiciones reales de los parámetros analizados. Posteriormente se procedió a etiquetar, almacenar (refrigeración con hielo) y generar la correspondiente cadena de custodia de la muestra efectuada.

El 15 de abril del 2023 y 11 de abril del 2025, la muestra fue receptada en las instalaciones de Grüentec Cia. Ltda, los días de mediciones de los parámetros se repartieron entre el 18, 19 y 24 de abril, finalmente el 27 de abril se emitió el reporte No. 2304219-S001 y 2504005-S001, sobre el cual se generó la tabla 5.6; su reporte de medición completo se adjuntó en el apartado de anexos como: Anexo 39. Informe de laboratorio respecto del monitoreo a la calidad de suelo.



Mapa 3-15 Referenciación del punto de monitoreo calidad del suelo en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.6.3.2 Resultados

Tabla 3-16 Resultados del monitoreo respecto de la calidad del suelo en instalaciones de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Parámetro	Calidad del suelo			Anexo 2.
Ubicación puntos muestreo	Inmediaciones de relavera temporal	Normativa		Tabla 1: Criterios de calidad del suelo
UTM WGS 84	651841 9589040			
Parámetro de caracterización	Resultado - valor encontrado			Método adaptado de referencias
	Resultado 14/03/2024	Resultado 11/04/2025	Tabla 1. Anexo 2. Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA	
Físico - químico:				
pH ⁽¹⁾	7,9	7.2	6 - 8	U.S.EPA9045D/SM 4500 H/MM-AG/S-01
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ⁽¹⁾	385	725	200	EPA 9050 A/MM-AG/S-02
Parámetros generales en suelo:				
Boro soluble mg/kg ^(*)	< 0,4	<0,4	1	Método Interno / MM-AG/S-39 D
Humedad % ⁽¹⁾	13	13	N/A	ASTM-4959-07/MM-S02A
Aniones solubles en agua:				
Fluoruro mg/kg ⁽¹⁾	< 1	<5	200	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Aniones y no metales en peso seco:				
Cianuro libre mg/kg ⁽¹⁾	2,3	<0,6	0,9	SM 4500 CN / MM-S-12
Cianuro total mg/kg ⁽¹⁾	2,5	>5	0,9	SM 4500-CN/MM-AG-28B
Metales en peso seco:				
Arsénico mg/kg ⁽¹⁾	298 ^{f10)}	403	12	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Azufre (elemental) mg/kg ⁽¹⁾	8905 ^{f4)}	1510	250	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Bario mg/kg ⁽¹⁾	50	114	200	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cadmio mg/kg ⁽¹⁾	12 ^{f9)}	10	0,5	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cobalto mg/kg ⁽¹⁾	16 ^{f4)}	23	10	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cobre mg/kg ⁽¹⁾	1202 ^{f7)}	469	25	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cromo mg/kg ⁽¹⁾	31	49	54	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Estaño mg/kg ⁽¹⁾	< 0,5	<0,5	5	EPA 6020 B/MM-AG/S-

				39
Mercurio mg/kg ⁽¹⁾	0,3 ^{f6)}	0,4	0,1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Molibdeno mg/kg ⁽¹⁾	1,0	1,2	5	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Níquel mg/kg ⁽¹⁾	17	22	19	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Plomo mg/kg ⁽¹⁾	796 ^{f5)}	154	19	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Selenio mg/kg ⁽¹⁾	5 ^{f3)}	2	1	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Vanadio mg/kg ⁽¹⁾	40	87	76	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Zinc mg/kg ⁽¹⁾	1057 ^{f2)}	964	60	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Cromo hexavalente mg/kg ⁽¹⁾	< 1	<0,4	0,4	EPA 6020 B/MM-AG/S-39
Metales en sólido:				
Relación adsorción de sodio en peso seco ⁽¹⁾	0,1 ^{f1)}	<0,1	4	EPA 6020 B / MM-S-62
BTEX en peso seco:				
Benceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,03	EPA8260 C/MM-AG/S-31
Clorobenceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
Estireno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
Etilbenceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
m+p-xileno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
O-xileno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
Tolueno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,003	0,1	EPA8260 C/MM-AG/S-31
Clorinados alifáticos en suelo (peso seco):				
1,1,1-Tricloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,1,2,2-Tetracloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,1,2-Tricloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,1-Dicloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,1-Dicloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,2 Dicloropropano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
1,2-Dicloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Bromodiclorometano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-

				31
Cis 1,3 Dicloropropeno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Cis 1,2 Dicloroeteno ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Cloroetano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Cloroformo mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Clorometano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Cloruro de metileno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Clorinados alifáticos en suelo (peso seco):				
Cloruro de vinilo mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Dibromoclorometano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Diclorodifluorometano mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Tetracloroeteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Tetracloruro de carbono mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Trans 1,3 Dicloro propeno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Trans-1,2-Dicloroeteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Tricloroeteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Tricloroeteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,03	<0,03	0,1	EPA8260C/MM-AG/S-31
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (peso seco):				
Acenafteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Acenaftileno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Antraceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Benzo(a)antraceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Benzo(a)pireno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Benzo(b)fluoranteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Benzo(g,h,i)perileno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Benzo(k)fluoranteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Criseno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Dibenzo(a,h)antraceno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Fenantreno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Fluoranteno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Fluoreno mg/kg ^(*)	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Indeno(1,2,3 c,d) pireno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Naftaleno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Pireno mg/kg ⁽¹⁾	< 0,1	< 0,1	0,1	EPA 8270 D / MM-S-22
Parámetros orgánicos en peso seco:				

Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/kg ⁽¹⁾	< 50	< 50	150	EPA 8270 D / MM-S-23
Bifenilos policlorados (peso seco):				
Aroclor 1016 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1221 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1232 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1242 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1248 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1254 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Aroclor 1260 mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58
Total PCB suelo mg/kg ⁽¹⁾	< 0,05	< 0,05	N/A	EPA 8082A/MM-AG/S 58

Fuente: Grüntec Cía. Ltda. No. Reporte 2304219-S001 y 2504005-S001, Tabla 1: Criterios de calidad del suelo, Anexo 2, Libro VI - AM 097A).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

⁽¹⁾ Servicio de Acreditación Ecuatoriano: Certificado No. SAE LEN 05-008

^(*) Los parámetros no están dentro del alcance de acreditación SAE.

En base a la revisión de los resultados expuestos en la tabla 5.6., se evidencia la presencia de varios parámetros (sobre todo los del grupo de metales en peso seco) superando los límites permisibles. Enseguida se detallan aquellos fuera de norma, los que mantienen el criterio de clasificación realizado por Grüntec Cía. Ltda.

Parámetros físico químico: Conductividad

Considerada una medida indirecta de la concentración de sales. Se supone que la alta concentración (385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 725 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dentro del polígono Cayo Gold) en comparación con lo establecido en la norma (200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se debe a:

- La topografía de zona baja, lo que genera una acumulación de sales producto del lavado junto con el agua desde puntos más elevados.
- Esta acumulación o concentración de sales en forma de aniones, a su vez genera, por una parte, el incremento de salinidad, y por otra la reducción de la disponibilidad de agua.

Según la EPA y el IGAG, el carácter salino permite describir a la zona como propensa a facilitar la movilización y retención de metales pesados, concluyendo que la actividad minera ejercida sobre el sitio está afectando al desarrollo de la biota que lo rodea.

Aniones y no metales en peso seco: Cianuro libre y cianuro total

El cianuro libre comprende dos especies: el ácido cianhídrico (HCN) y el ion cianuro presente en la solución (CN⁻). Debido a su alta reactividad podría (Vargas, 2016): 1) Reaccionar con varias formas de azufre de piritas u otros constituyentes de minerales; 2) Acomplejarse con trazas de iones metálicos; 3) Liberarse a la atmósfera y dispersarse; 4) Metabolizarse por microorganismos; 5) Oxidarse a cianato y degradarse químicamente a amonio y dióxido de carbono; 6) Reaccionar con materia orgánica; 7) Hidrolizarse a

amonio y formiato.

El cianuro total es un término que comprende el cianuro presente en una solución en todas sus formas incluyendo los cianuros estables (cianuros de hierro) (Instituto internacional para el manejo del cianuro, 2012).

En El Pache principalmente se beneficia el oro, por medio de la lixiviación cianurada o llamada también cianuración. En este proceso, se utiliza el cianuro sódico como agente de lixiviación y como oxidante el oxígeno que es suministrado por el propio aire (Botz, 2012), pese a que el beneficio es programado, ambientalmente el problema radica en el almacenamiento temporal de los relaves con altas concentraciones de cianuro en las colas, presentando niveles por encima de los permisibles. Puntualmente en el polígono de Cayo Gold, el cianuro libre indica una concentración de 2,3 mg/kg y <0,6 mg/kg y el cianuro total una del 2,5 mg/kg y >5 mg/kg, comparándolos con los de la normativa (en ambos casos hasta el 0,9 mg/kg) se evidencian estar por encima de los límites permitidos. Resultan curiosas las concentraciones, ya que, en la actualidad dentro de las instalaciones no se llevan a cabo procesos que involucren al cianuro de sodio, puesto que, al no contar con el registro de sustancias químicas no se usa la sustancia, por lo expuesto, y en base a la investigación se asume que al poseer una alta movilidad en el suelo (Botz, 2012) sus concentraciones provienen de las actividades de los alrededores.

Metales en peso seco: Arsénico, azufre, cadmio, cobalto, cobre, mercurio, plomo, selenio, zinc y cromo hexavalente

Los metales pesados o EPTs (elementos potencialmente tóxicos) son componentes naturales de los suelos que forman parte del sustrato geológico y se liberan a éste a través de la edafogénesis (Palumbo, 2000) por la alteración de minerales primarios y la formación de la fracción coloidal y del complejo arcillo - húmico. Sin embargo, en el Pache (AID de Cayo Gold) se ha producido un aumento considerable de su concentración en la superficie terrestre y un incremento de su contenido en los suelos, con graves efectos sobre el medio ambiente y la salud humana.

De acuerdo con (García & Dorronsoro, 2015) los EPTs pueden subdividirse en función de si presentan o no función biológica conocida.

Así, los oligoelementos o micronutrientes (función biológica conocida) son necesarios en concentraciones bajas para el correcto desarrollo del ciclo vital de los organismos, bien sean animales o plantas. Sin embargo, pueden llegar a causar problemas de toxicidad si su concentración se ve incrementada. En este grupo y dentro del suelo ocupado por Cayo Gold se encuentran: arsénico (As), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), selenio (Se) y zinc (Zn). Del grupo en cuestión, aquellas concentraciones muy por encima de los límites establecidos los poseen: As, Cu y Zn, mientras que Co, Se y Cr, aunque están fuera de norma, manejan valores mucho más cercanos a los de cumplimiento, tal como muestran en la tabla.

Tabla 3-17 Metales pesados de función biológica conocida que incumplen la normativa ambiental vigente, ubicados en la zona de relavera temporal de Cayo Gold (cód. 30000443).

Metal	Resultado 14/03/2024	Resultado 11/04/2025	Tabla 1, Anexo 2. Criterios de Calidad del Suelo del Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA
Arsénico (As) mg/kg	298 ⁽³⁾	403	12
Cobalto (Co) mg/kg	16	23	10
Cobre (Cu) mg/kg	1202 ⁽²⁾	469	25
Selenio (Se) mg/kg	5	2	1
Zinc (Zn) mg/kg	1057 ⁽¹⁾	964	60
Cromo hexavalente (Cr) mg/kg	<1	<0,4	0,4

Fuente: Grüentec Cía. Ltda. No. Reporte 2304219-S001 y 2504005-S001.
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

El metal con mayor concentración es el zinc (Zn) considerado relativamente no tóxico, sin embargo, en altos niveles podría tener consecuencias para la salud (Neira, Rojas, & Rodas, 2020). Se considera que la mayor parte que entra al ambiente es resultado de la actividad minera, en especial del proceso de refinación y fundición mineral. Eventualmente está presente en forma de partículas finas de polvo, este polvo (al ser un metal pesado) se deposita principalmente sobre el suelo (haciendo casi imposible su disolución en el agua) (ATSDR, 2005).

Lo sigue en orden la concentración de cobre (Cu), cuya presencia abrumadora se asocia al proceso de flotación, a partir de lo cual se obtiene principalmente el concentrado de Cu. Pese a ser un elemento esencial para la homeostasis, a altas dosis es potencialmente tóxico (Pazirandeh, David, & Burnslan, 2022), además de contaminante de suelos, fuentes de agua y aire (Londoño, 2016). Cuando el cobre es liberado al ambiente, penetra en plantas, tierra, rocas y sedimentos. Al entrar en contacto con el agua se adhiere a partículas en suspensión; también puede difundirse a través del aire (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2004). En el ser humano la intoxicación es rara y poco frecuente por la capacidad del hígado de excretarlo (Feoktistova & Clark, 2018).

Respecto de las altas concentraciones de arsénico muy probablemente su presencia contundente provenga del proceso de fundición efectuado por las plantas aledañas a Cayo Gold (ya que actualmente en la planta no se está ejecutando). Al poseer una amplia capacidad de dispersión puede penetrar en cualquier medio a través de tormentas de polvo y aguas de escorrentía. Aunque el As es considerado esencial dentro de las toxinas porque se requiere en pequeñas cantidades para el crecimiento y el metabolismo, resulta ser potencialmente tóxico en altas concentraciones (Krumova, Nikolovska, & Groudeva, 2014).

Finalmente, aquellos metales que no presentan función biológica conocida (y que exceden sus niveles en la superficie de Cayo Gold), y que aun así causan elevada toxicidad o problemas de funcionamiento de los organismos sea cual sea su concentración, son: cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb).

Tabla 3-18 Metales pesados de función biológica no conocida que incumplen la normativa ambiental vigente, ubicados en la zona de relavera temporal de Cayo Gold (cód. 30000443).

Metal	Resultado 14/03/2024	Resultado 11/04/2025	Tabla 1, Anexo 2. Criterios de Calidad del Suelo del Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA
Cadmio mg/kg	12 ⁽²⁾	10	0,5
Mercurio mg/kg	0,3 ⁽³⁾	0,4	0,1
Plomo mg/kg	796 ⁽¹⁾	154	19

Fuente: Grüentec Cía. Ltda. No. Reporte 2304219-S001 y 2504005-S001
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

El plomo (Pb) presenta los niveles más elevados de esta clasificación. Se trata de un metal pesado, no biodegradable y altamente persistente en el entorno, características que le dotan de una alta capacidad de bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia (Raymond & Okieimen, 2011). Su presencia se asocia a los procesos de fundición y refinación minera (Raymond & Okieimen, 2011), sin embargo, su concentración contundente en el suelo Cayo Gold (al ser un elemento persistente) se atribuye a los trabajos llevado a cabo por la/as personas (naturales y jurídicas) que antecedieron sus

trabajos sobre esta superficie.

Lo sigue en orden el cadmio (Cd) considerado el séptimo metal más tóxico según la clasificación de la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Seguramente su presencia en el suelo de Cayo Gold se deba a: 1) las características metálicas no ferrosos de los materiales que se procesan, y cuyos desechos se disponen temporalmente en la relavera, 2) a la presencia preponderante del zinc, ya que, por afinidad química suelen encontrarse en sinergia (Ramirez, 2022). Por otro lado, su elevada concentración se atribuye a dos factores: 1) a sus características: persistente y bioacumulable; 2) al pH básico, que le transfiere al metal (Cd) incapacidad de movilidad en el suelo.

Respecto del mercurio (Hg), para el 2009 se estimaba que las emisiones totales de Hg oscilaban entre 5000 y 8000 toneladas por año (UNEP, 2009). El Hg es un metal pesado y líquido a temperatura y presión ambiente, persistente en el entorno. Estudios recientes estiman que, de las toneladas de mercurio emitidas a la atmósfera, aproximadamente un 95 % se encuentra en suelos, un 3 % en aguas oceánicas y un 2 % en la atmósfera. También se estima que entre un 40 y un 75 % del Hg atmosférico actual tiene como origen fuentes antropogénicas (Gaona, 2004). De lo antes mencionado, se infiere como con el Pb, que los niveles de Hg (al ser un elemento persistente) se deben a las actividades de beneficio llevadas a efecto previo a las ejecutadas por Empresa Productora Golden Valleyplanta S.A., titular minera, que en la actualidad lleva a cabo el proceso de flotación.

3.1.7 Hidrología y calidad del agua

3.1.7.1 Hidrología

La caracterización de la red hídrica e identificación de las cuencas, subcuencas y microcuencas del área de estudio se basó en el contenido del documento denominado: Actualización del plan de desarrollo de ordenamiento territorial del cantón Portovelo, periodo 2019 - 2023 (incluida su cartografía), así como en la información cartográfica editada por el Instituto Geográfico Militar (IGM). En campo se registraron las características fisiográficas de los sistemas de drenaje presentes en el área de estudio.

3.1.7.1.1 Resultados

Hidrográficamente, se encuentra en la cuenca de los Ríos Puyango - Tumbes, con ríos tributarios como: el Amarillo y Calera, que forman el Río Pindo - Puyango - Tumbes, que luego de pasar la frontera con Perú desemboca en el Pacífico. Además, existe una quebrada sin nombre que es afluente del Río Calera (un sistema de drenaje natural principal), la parte más alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 690 msnm, esta quebrada es de naturaleza intermitente y discurre su flujo de aguas de noreste (NE) a suroeste (SO) hasta llegar a la confluencia con el Río Calera, cuerpo hídrico con un flujo de aguas constante, cuyo caudal promedio es de 22,98 m³/s.



Figura 3-25 Río Calera en época invernal.



Figura 3-26 Río Calera en época de verano.



Figura 3-27 Rio Amarillo en época de verano.

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.7.1.2 Descripción de las unidades hidrográficas

Para la determinación de las unidades hidrográficas y sus características físicas se consideró la base de información cartográfica oficial del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 aplicando la metodología Pfafstetter que se encuentra detallada en el Acuerdo Ministerial Nro. 2017 0023, publicado en el Registro Oficial, Edición Especial Nro. 136 de 15 de noviembre de 2017 mediante el cual se aprueba la legalización, difusión e implementación de la división hidrográfica del Ecuador, para los niveles 5 y 6 a nivel nacional y nivel 7 para la vertiente del Amazonas a la escala 1: 50 000, con el método Pfafstetter.

Según el citado acuerdo⁴, la Cuenca es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero sí contribuye con flujo a otra unidad de drenaje o al curso principal del río.

La Intercuenca es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, a través del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. Es decir, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal. Mientras que la cuenca interna, es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

A manera de caracterizar toda el área donde se prevé intervención debido a la ejecución del proyecto, se establecieron los niveles de las unidades hidrográficas que se encuentran en el área de estudio. En tal sentido, se determinó que el área del proyecto se enmarca en dos unidades (nivel 6), que son la Unidad Hidrográfica 139293 y Unidad Hidrográfica 139297 correspondiente a la demarcación Hidrográfica Puyango - Catamayo).

⁴ Se debe señalar que la metodología Pfafstetter no utiliza los términos subcuenca y/o microcuenca y la categorización de las unidades tipo cuenca o intercuenca está dada por el nivel en el que se encuentra la unidad.



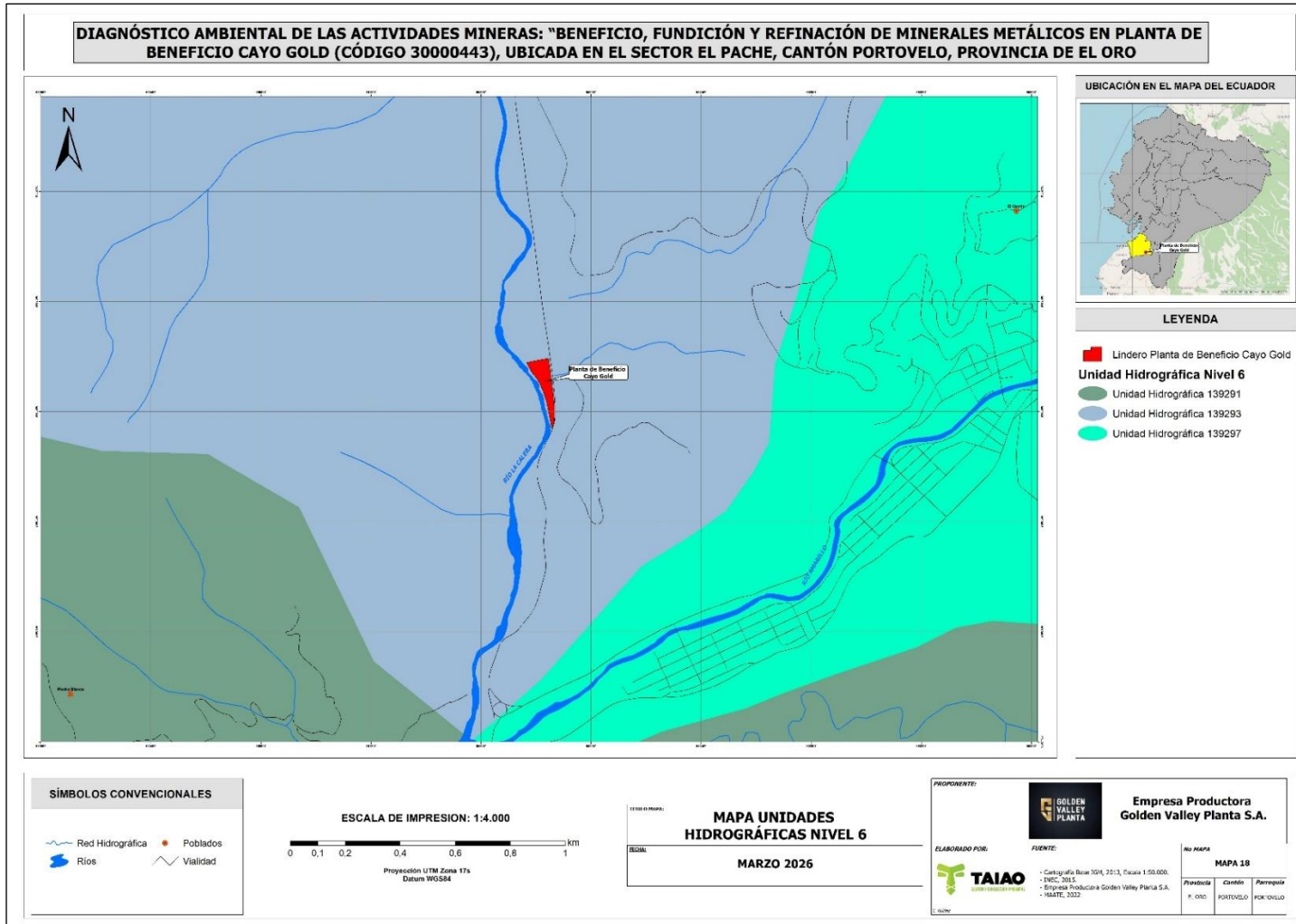
Se presenta a continuación la demarcación y unidades hidrográficas de acuerdo con el método Pfafstetter:

Tabla 3-19 Demarcación y Unidades Hidrográficas del proyecto

Nivel 1	Nombre	Nivel 2	Nombre	Nivel 3	Nombre	Nivel 4	Nombre	Nivel 5	Nombre	Nivel 6	Nombre
1	Región hidrográfica 1 (Pacífico)	13	Unidad hidrográfica 13	139	Unidad hidrográfica 139	1392	Cuenca río Puyango	13929	Unidad hidrográfica 13929	139293	Unidad hidrográfica 139293
1	Región hidrográfica 1 (Pacífico)	13	Unidad hidrográfica 13	139	Unidad hidrográfica 139	1392	Cuenca río Puyango	13929	Unidad hidrográfica 13929	139297	Unidad hidrográfica 139297

Fuente: Ministerio del Ambiente y Agua, 2017.

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026



Mapa 3-16 Caracterización hidrográfica área de emplazamiento de planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

3.1.7.2 *Calidad de agua*

Respecto de la caracterización de la calidad de las fuentes de agua, se llevaron a efecto muestreos y análisis de laboratorio (Grüentec Cia. Ltda, laboratorio acreditado por el SAE) a fin de obtener un diagnóstico físico - químico. Los sitios de muestreo se establecieron tomando en cuenta la presencia de la fuente hídrica río Calera a la altura de la superficie ocupada por Cayo Gold (cód. 30000443). Durante el trabajo de campo se tomaron las coordenadas de los puntos de muestreo. Los datos de calidad de agua fueron tabulados y comparados con la normativa ambiental vigente, en este caso, TULSMA (A.M. 097-A), Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua; tabla 2 río Calera (aguas arriba y abajo de Cayo Gold). A partir de dicho informe se lograron evaluar las características físico - químicas del río Calera; y el nivel de incidencia (sobre su calidad) a razón de las actividades de beneficio mineral en Cayo Gold.

3.1.7.2.1 *Metodología*

Con fecha 14 de abril de 2023, utilizando recipientes de vidrio (1000 ml) previamente seleccionados y esterilizados, se procedió a georreferenciar y tomar las dos muestras: aguas arriba y aguas abajo (la distancias entre ambos puntos fue de aproximadamente 153 m). Se destaparon e introdujeron rápidamente los frascos al ras (evitando la formación de burbujas) a fin de evitar cantidades de oxígeno en la muestra que alteren las condiciones reales de los parámetros analizados. Posteriormente, se procedió a etiquetar, almacenar (refrigeración con hielo) y generar la correspondiente cadena de custodia de las muestras efectuadas.

El 15 de abril las muestras fueron receptadas en instalaciones de Grüentec Cia. Ltda, y entre los días 18 y 21 de abril se realizaron las respectivas mediciones. Finalmente, el 27 de abril se emitieron los reportes Nro. 2304219-AD001 y 2304219-AD002, cuyos resultados están expuestos en la tabla 5.7; y a detalle en el apartado de anexos, denominado: Anexo 24. Informe de laboratorio respecto del monitoreo a la calidad de agua.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES MINERAS: “BENEFICIO, FUNDICIÓN Y REFINACIÓN DE MINERALES METÁLICOS EN PLANTA DE BENEFICIO CAYO GOLD (CÓDIGO 30000443), UBICADA EN EL SECTOR EL PACHE, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO



UBICACIÓN EN EL MAPA DEL ECUADOR



LEYENDA

- Punto Muestreo Calidad del Agua
- Infraestructura Operativa
- Lindero Planta de Beneficio Cayo Gold

LUGAR	X	Y	FECHA	ALUMINIO	ARSENICO	CADMIO	COBALTO	COBRE	HIERRO
AGUAS ARRIBA	651758	9589170	31/3/2025	11	0,14	0,0039	0,013	0,38	24
AGUAS ABAJO	651831	9589032	31/3/2025	11	0,43	0,0042	0,011	0,42	26

LUGAR	X	Y	FECHA	MANGANESO	MERCURIO	NIQUEL	PLOMBO	SELENIO	ZINC
AGUAS ARRIBA	651758	9589170	31/3/2025	0,7	0,0005	0,017	0,38	<0,001	0,43
AGUAS ABAJO	651831	9589032	31/3/2025	0,7	0,0005	0,009	0,22	<0,001	0,44

LUGAR	X	Y	FECHA	SULFATO	SULFURO	ACEITES GRASAS	DBO	DQO	HIDROCARBUROS
AGUAS ARRIBA	651758	9589170	31/3/2025	18	<0,026	<0,3	<2	9	<0,3
AGUAS ABAJO	651831	9589032	31/3/2025	18	<0,026	<0,3	<2	8	<0,3

LUGAR	X	Y	FECHA	PH	CONDUCTIVIDAD	SOLIDOS DISUELTOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS
AGUAS ARRIBA	651758	9589170	31/3/2025	8	91	68	398
AGUAS ABAJO	651831	9589032	31/3/2025	8,1	96	85	497

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- Red Hidrográfica
- Vialidad
- Ríos



TÍTULO MAPA: **MAPA MUESTREO CALIDAD DEL AGUA**

FECHA: **MARZO 2026**

PROYECTANTE: **GOLDEN VALLEY PLANTA** Empresa Productora Golden Valley Planta S.A.

ELABORADO POR: **TAIAO**

FUENTE: **MAPA 29**

Cartografía: Base TAIAO, 2016, Escala: 1:50.000
 PSC, 2015.
 República Productora Extracto Valley Planta S.A.
 - Leería Viejo de Campo, 2025

Provincia	Cantón	Parroquia
EL ORO	PORTOVELO	NOROCCIDENTAL

**Mapa 3-17 Referenciación del punto de monitoreo a la calidad del agua en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).
 Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026**

3.1.7.2.2 Resultados

Tabla 3-20 Resultados del monitoreo respecto de la calidad hídrica en el río Calera en planta de beneficio Cayo Gold (cód. 30000443).

Parámetro	Calidad del agua	Normativa	Anexo 1. Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA
Ubicación puntos muestreo	Aguas arriba de río Calera, antes del ingreso a la superficie ocupada por Cayo Gold		Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.
UTM WGS 84	651831 9589032		
Parámetro	Calidad del agua	Normativa	Anexo 1. Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA
Ubicación puntos muestreo	Aguas abajo río Calera, fuera de la superficie ocupada por Cayo Gold		Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.
UTM WGS 84	651758 9589170		

Parámetros realizados en el laboratorio	Resultado - valor encontrado 14-04-2023		Resultado - valor encontrado 31-04-2025		Límite máximo permisible (normativa)
	Muestra. Aguas arriba Cayo Gold	Muestra. Aguas abajo Cayo Gold	Muestra. Aguas arriba Cayo Gold	Muestra. Aguas abajo Cayo Gold	
Físico - químico:					
pH Unidades de pH ⁽¹⁾	7.9	7.8	8	8.1	6.5<pH<9
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ⁽¹⁾	133	96	91	96	N/A
Sólidos Suspendidos Totales mg/l ⁽¹⁾	252	196	68	85	max. Incremento 10% de la condición natural
Sólidos Totales Gravimétricos mg/l ⁽¹⁾	351	270	398	497	N/A
Aniones y No Metales:					
Sulfato mg/l ⁽¹⁾	36	22	18	18	N/A
Sulfuro mg/l ⁽¹⁾	<0.013	<0.013	<0,026	<0,26	N/A
Parámetros Orgánicos					
Aceites y grasas mg/l ⁽¹⁾	<0.3	<0.3	<0,3	<0,3	0.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l ⁽¹⁾	<2	<2	<2	<2	20
Demanda Química de Oxígeno mg/l ⁽¹⁾	16	14	9	8	40
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l ⁽¹⁾	<0.3	<0.3	<0,3	<0,3	0.5
Metales totales:					
Aluminio mg/l ⁽¹⁾	9.4	7.0	11	11	0.1
Arsénico mg/l ⁽¹⁾	0.19	0.099	0.14	0,43	0.05
Cadmio mg/l ⁽¹⁾	0.0057	0.0019	0.039	0,0042	0.001
Cobalto mg/l ⁽¹⁾	0.0059	0.0037	0.013	0,011	0.2
Cobre mg/l ⁽¹⁾	0.17	0.08	0,38	0,42	0.005

Hierro mg/l ⁽¹⁾	18	11	24	26	0.3
Manganeso mg/l ⁽¹⁾	0.85	0.52	0.70	0,70	0.1
Mercurio mg/l ⁽¹⁾	<0.0002	<0.0002	0.0005	0,0005	0.0002
Níquel mg/l ⁽¹⁾	<0.002	<0.002	0.017	0,009	0.025
Plomo mg/l ⁽¹⁾	0.26	0.10	0.28	0,22	0.001
Selenio mg/l ⁽¹⁾	<0.002	<0.002	<0.001	<0,001	0.001
Zinc mg/l ⁽¹⁾	0.50	0.16	0.43	0,44	0.03

Fuente: Grúentec Cía. Ltda., reporte de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002, tabla 9. Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, Anexo 1 de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Libro VI - AM 097A).

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026.

A partir de los resultados de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002 se pudieron identificar 5 parámetros fuera de norma para la muestra₁; y 3 para la muestra₂. Probablemente la mayor incidencia de contaminación sobre el río Calera (resultados de la muestra₁) se deba a la ubicación del punto de muestreo, por dos razones: 1) es la zona más angosta del río (con un ancho aproximado de 13 m), 2) converge una quebrada sin nombre, convirtiéndose en tributaria del cuerpo hídrico y por ende de las sustancias (como los metales pesados o EPTs) y parámetros físico - químicos (como lo sólidos suspendidos totales) que por ella discurren. Después de atravesar una distancia aproximada de 153 m (correspondiente al suelo ocupado por Cayo Gold) se tomó la muestra₂, sitio en el que se identificó la ampliación en casi el doble (31 m) del ancho del río, haciendo más rápida y dispersa la concentración de los parámetros que se transportan por éste. En la tabla se establecen los parámetros fuera de norma para ambas muestras.

Tabla 3-21 Parámetros fuera de norma de acuerdo a los resultados de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002

Parámetro	Muestra ₁ (M ₁) Aguas arriba 14-04-2023	Muestra ₂ (M ₂) Aguas abajo 14-04-2023	Muestra Aguas arriba 31-04- 2025	Muestra Aguas abajo 31-04- 2025	Tabla 2. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.
Aluminio mg/l	9.4	7.0	11	11	0.1
Arsénico mg/l	0.19	0.099	0.14	0,43	0.05
Cadmio	0.0057	0.0019	0.039	0,0042	0.001
Cobre mg/l	0.17	0.08	0,38	0,42	0.005
Hierro mg/l	18	11	24	26	0.3
Manganeso mg/l	0.85	0.52	0.70	0,70	0.1
Plomo mg/l	0.26	0.10	0.28	0,22	0.001
Selenio mg/l	<0.002	<0.002	-	-	0.001
Zinc mg/l	0.50	0.16	0.43	0,44	0.03

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

(Reyes, 2006) menciona que la calidad del agua está determinada por la presencia y niveles de

concentración de contaminantes y factores físico - químicos como los: sólidos totales, la turbiedad, el pH y la conductividad.

La actividad minera en El Pache (área de estudio) a lo largo del tiempo ha degradado grandemente la calidad del río Calera, la alteración de los parámetros citados en el párrafo anterior son una muestra de ello. De acuerdo a la historia, las primeras actividades de beneficio, se efectuaban en el mismo río (minería aluvial), cuando se empezó a tecnificar (instalación de plantas de beneficio) los desechos se descargaban directamente sobre el cuerpo hídrico. A partir de la presencia del Ministerio del Ambiente, éstas actividades se regularizaron por medio de la emisión de licencias ambientales, documento mediante el cual, el titular debía cumplir con la normativa ambiental vigente, las medidas dispuestas en el PMA, y las obligaciones procedentes de su permiso.

Cayo Gold (cód. 30000443) es una de las últimas plantas de beneficio asentadas en el sector, por tanto, el diseño, implantación y construcción de sus instalaciones para la operatividad de los procesos mineros se fundamentan en las sugerencias y/o recomendaciones técnicas emitidas por la AAr. Como, por ejemplo: la recirculación del agua de sus procesos en un 100 % sin la posibilidad de descargas al cuerpo hídrico receptor.

Del párrafo antecedente, se deja expuesto que el análisis sobre la calidad del cuerpo hídrico se hará en base a las actividades mineras llevadas a cabo sobre el área de muestreo, sin inferir a una actividad particular. Enseguida se analizan los parámetros fuera de norma, manteniendo el criterio de clasificación realizado por Grüentec Cía. Ltda en el respectivo reporte de resultados.

Parámetros físico - químico: Sólidos suspendidos totales

De acuerdo con (Jaya Cabrera, 2017) los sólidos suspendidos hacen referencia al material particulado que se encuentra en suspensión en las corrientes de agua, así como al barro de las corrientes de tierra, plancton y desechos industriales y de drenaje.

En cuanto a los resultados de laboratorio, los sólidos suspendidos son el parámetro físico - químico que advierte la concentración más elevada en ambos puntos. Un excedente de 122 mg/l para M₁ y uno de 66 mg/l para M₂.

Este parámetro, es uno de los muchos factores, que permite establecer y evaluar el estado de la calidad del agua del cuerpo receptor, en este caso río Calera, tal cual lo explicó (Reyes, 2006). Dado que el parámetro supera el límite permitido por la normativa ecuatoriana, en concentraciones importantes, se advierte que el cuerpo de agua se encuentra en un estado de intervención antrópica considerable.

Vale la pena mencionar, que los altos niveles de este parámetro podrían aumentar la temperatura del agua y disminuir los niveles de oxígeno disuelto (OD). Por último, y no menos importante éstos sólidos podrían intervenir y por ende afectar en la turbidez del agua, la cual a su vez reduce la fotosíntesis en plantas acuáticas (Urgilez, 2016).

Finalmente, se infiere que, la presencia del material particulado a lo largo de los 153 m (área de muestreo) podría estar relacionado con la descarga de desechos sólido - mineros, tal cual lo menciona (Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017); y/o con la presencia de lluvias intensas durante los últimos meses.

Metales totales: Aluminio, arsénico, hierro y plomo

Los elementos que se encuentran superando la normativa en la muestra₁ y muestra₂ de mayor a menor concentración son: hierro (Fe), aluminio (Al), manganeso (Mn), zinc (Zn), plomo (Pb), cobre (Cu), arsénico (As), cadmio (Cd) y selenio (Se). De estos elementos el Mn, Zn, Pb, Cu, As, Cd, y Se exceptuando el Al, se encuentran dentro de la lista de metales pesados, por ser de alta densidad y muy tóxicos, llegando a

contaminar el agua de ríos a causa de la industria minera, dado que, de acuerdo a lo mencionado por (Mora, Jumbo, González, & Bermeo, 2016) para la extracción del oro del mineral, en las plantas de beneficio se lleva a cabo el proceso de molienda del mineral sulfuroso rico en metales pesados, generando tras el lavado, lixiviados mineros con un alto contenido de metales potencialmente tóxicos, los cuales se encuentran en porciones disueltas y particuladas.

Los metales pesados son elementos considerados altamente tóxicos y muy peligrosos en concentraciones bajas, tanto para el ser humano como para el medio acuático y terrestre. Permanecen por largos periodos en los ecosistemas, dada su degradación natural difícil; por tal razón, entre sus principales características constan: su persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad (Rodríguez, 2017). Una problemática ambiental fuerte respecto de estos metales es la contaminación de las fuentes hídricas, debido a la toxicidad que representan para las personas que se abastecen de ríos contaminados con estos elementos (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020). Entre las principales actividades que afectan a los ecosistemas acuáticos por estos metales pesados, figuran en mayor proporción las operaciones de tipo minero y de fundición (Vilchez, 2005).

El metal de mayor concentración en las muestras de agua 1 y 2 corresponde al hierro (Fe) con un excedente de 17,7 y 10,7 mg/l respectivamente. Si bien Fe es considerado un metal pesado dada su densidad y peso molecular, es común su presencia en el agua. No es tóxico ni presenta un peligro para la salud (Contreras, Mendoza, & Gomez, 2004). De acuerdo con (Truque, 2013), cuando este elemento sobrepasa los límites permitidos por las normas de cada país, el agua empieza a presentar un sabor metálico y mantiene un olor ofensivo. Su presencia puede estar asociada a la obtención de pirita o al contenido de ésta en el material que se beneficia en las plantas del sector, cuya modalidad en la mayoría de los casos, es de alquiler.

Seguidamente se tiene al aluminio (Al) con un excedente de 9,3 y 6,9 mg/l para cada muestra. Su presencia se atribuye al uso de floculantes y/o coagulantes durante el proceso de flotación, y a la ejecución del proceso de refinación sobre material aurífero y otros minerales. Usados por años como coagulante para reducir los niveles de materia orgánica, turbidez y microorganismos en el agua (OMS, 1999), cuando su presencia es contundente le confiere a ésta un sabor y turbidez no deseado. Actualmente el estado del Al como elemento inofensivo para el hombre, está cambiando debido a ciertos hallazgos epidemiológicos, si es ingerido en concentraciones excesivas. Entre estos hallazgos se citan: retrasar la evacuación gástrica, y causar estreñimiento crónico, fibrosis pulmonar, Alzheimer (OMS, 1999), demencia, entre otros.

El manganeso (Mn), lidera el tercer puesto como una de las muestras más altas en concentración, excediendo a la norma, con 0,75 y 0,42 mg/l respecto de las muestras 1 y 2. El manganeso es un metal que se encuentra de forma abundante en la corteza terrestre con un equivalente al 0,1%, el quinto de acuerdo con (Meza, 2022), y uno de los mayores contaminantes de aguas subterráneas y superficiales. (Castillo, Pulido, Cano, & Olivera, 2022) mencionan que, la contaminación por manganeso en las aguas se debe de forma natural, a la disolución de las rocas y minerales que se encuentran en forma de óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos; y de forma antropogénica, a partir de las aguas residuales industriales generadas por la minería, plaguicidas, productos químicos orgánicos y procesamiento de metales. Si bien es un elemento esencial para las funciones biológicas de los seres vivos, la exposición de este elemento, en altas concentraciones es altamente peligroso, ya que, genera daños irreparables en los sistemas acuáticos, inhibe el crecimiento de las comunidades vegetales, además de poseer una coloración oscura, mal olor y sabor (Castillo, Pulido, Cano, & Olivera, 2022).

Seguido se tiene al zinc (Zn) con un excedente de 0,47 y 0,13 mg/l. El zinc es un oligoelemento esencial que se encuentra de forma natural en el agua, sin embargo, su determinación en concentraciones elevadas puede ser muy tóxicas como es el presente caso. De acuerdo con (Biasi, Messina, & Gómez, 2021) el zinc ingresa al agua y al suelo como resultado de procesos naturales, como lixiviación de suelos, rocas e incendios forestales, y; antropogénicos, como, la producción de aceros, sistemas de plomería domésticos, desecho de aguas residuales industriales y urbanas, derrames de petróleo, minería, uso de

fertilizantes, insecticidas, fungicidas, cosméticos y/o pinturas.

El plomo (Pb) es el quinto metal con concentración por encima de la norma, su excedente es de 0,259 y 0,099 mg/l. Considerado uno de los metales pesados más perjudiciales, al no estar asociado a rutas metabólicas dentro del organismo (Rodríguez, 2017), lo que le confiere ser un elemento de difícil eliminación. Presenta una toxicidad alta en concentraciones bajas, es considerado no biodegradable, bioacumulativo y persistente. Una de sus fuentes de liberación a los ecosistemas es la industria minera según lo expuesto por (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020). (Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017) mencionan que el Pb en el río Calera se debe a la actividad minera de la zona; y, que, en las cuencas bajas los niveles de concentración de plomo incrementan.

Seguido se tiene al cobre (Cu), por encontrarse como el sexto en exceder la norma, con 0,165 y 0,075 mg/l respecto de las muestras. En un artículo realizado por (Mora, Jumbo, González, & Bermeo, 2016), en la misma área del presente estudio, se menciona la concentración de metales como Mn, Zn, Cu, Pb y Hg, posiblemente por la presencia de depósitos masivos de sulfuros polimetálicos, los cuales son abundantes en la cuenca alta del Puyango, debido al material polimetálico molido aportado por las plantas de beneficio del sector El Pache de Portovelo. El estudio menciona un incremento de la concentración de estos metales, en una muestra colectada en el río Calera, después de las plantas de beneficio, deduciendo dicho incremento a la incorporación de lixiviados mineros procedentes de las plantas procesadoras de mineral, los cuales son tratados inadecuadamente antes de ser vertidos al río. Finalmente menciona que las altas concentraciones de estos metales pesados en los sedimentos de los ríos tienen un efecto adverso para la biota acuática; lo cual es evidente tras el estado actual del río Calera explícitamente en el área industrial, El Pache, al no contar con ictiofauna en su interior; y de contar (aguas abajo), es posible mencionar su contaminación, pues existen estudios respecto del contenido de estos metales en la biota de los ríos que confluyen aguas abajo del río Calera y que alimentan a toda la cuenca del Puyango, según lo expuesto por autores como (Tarras-Wahlberg, Flachier, Lane, & Sangfors, 2001) y (Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017).

Lo sigue en orden, el arsénico (As) cuya presencia es atribuida a los procesos de fundición en el sector minero. Según la OMS un límite máximo recomendado en el agua debería ser del 0,01 mg/l (Truque, 2013), sin embargo, en Ecuador el límite es más amable pudiendo llegar hasta el 0,1 mg/l. Respecto de la muestra 1 y 2, el excedente es de 0,14 y 0,049 mg/l respectivamente. Al ser un metal pesado muy tóxico, su exposición prolongada puede devenir desde una intoxicación crónica hasta enfermedades autoinmunes (cáncer), cardiovasculares, afectaciones cutáneas y diabetes (OMS, 2022). Así también se mencionan tumores de piel de baja malignidad por consumo de agua con exceso de As (Rodríguez, 2017). De acuerdo con (Herrera, Pineda, & García, 2013) la ingesta de arsénico a través de aguas contaminadas produce la acumulación del elemento en los tejidos, provocando daños críticos, lo que nos indica que es un elemento bioacumulativo, con la capacidad de incorporarse fácilmente a la cadena alimenticia y distribuirse ampliamente en el reino animal y vegetal.

Por último, se tiene al cadmio (Cd) con un excedente de 0,0047 y 0,0009 mg/l respecto de cada muestra, de acuerdo con (Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017) los desechos tóxicos, subproducto de procesos mineros de relaves y escombros, constan de azufre, cadmio, plomo, arsénico, molibdeno, cianuro libre y compuestos fenólicos. Siendo así que la contaminación de los ecosistemas se da por la mala gestión, disposición e incorporación de estos desechos al ambiente sin ser tratados de forma adecuada. De acuerdo con (Fundación Periodistas Sin Cadenas) y el biólogo Ernesto Gallo, el cadmio se inserta en la cadena trófica a través de las plantas, y; a partir del consumo de estos alimentos contaminados, llega al organismo de los seres humanos, causando un daño irreversible, dado su acumulación en riñones y en el hígado.

El selenio (Se) por su parte se encuentra excediendo a la norma en trazas de <0,0001 para cada muestra. De acuerdo con (Torres, Colina, Cano, Rivas, & Andrade, 2015) un incremento en la concentración de selenio en los ríos provoca una alteración en la calidad de las aguas y sedimentos, lo cual a su vez podría

provocar cambios en las estructuras de las comunidades animales, vegetales y consumidores presentes las zonas, estos incrementos según el autor están directamente relacionados a las actividades humanas como es el presente caso de tipo industrial minero.

Parámetros orgánicos: DBO y DQO

Los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) indican la demanda de consumo de oxígeno del agua, cuando estas son altas impiden la disposición normal de dicho oxígeno en los cuerpos de agua, lo cual genera asfixia en los organismos de este medio. Por lo que, a mayor concentración de estos índices, más contaminada se encontrará el agua y es menos concebible de ser habitada por organismos vivos (Raffo & Ruiz, 2014).

En los resultados del análisis de agua de este parámetro en el río Calera, tanto en la muestra₁ (aguas arriba) como la muestra₂ (aguas abajo) se ha determinado que existe una concentración baja de este índice, tal como se indica en la tabla 5.11 a continuación:

Tabla 3-22 DBO y DQO de acuerdo al resultado de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001, 2304219-AD002, 2504005-PC001 y 2504005-PC002

Parámetro	Muestra ₁ (M ₁) Aguas arriba 14-04- 2023	Muestra ₂ (M ₂) Aguas abajo 14-04- 2023	Muestra Aguas arriba 31-04-2025	Muestra Aguas abajo 31-04-2025	Tabla 2. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) mg/l	<2	<2	<2	<2	20
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/l	16	14	9	8	40

Elaborado por: ENERMILL CIA. LTDA./TAIAO CONSULTORES, 2026

Las concentraciones determinadas en el análisis, muestran un aparente río sano, sin embargo, muy probablemente sus bajos niveles están relacionados con la época invernal y su respectiva oxigenación motivada por las fortísimas lluvias

3.1.8 Conclusiones

- ✓ Las actividades llevadas a cabo en Cayo Gold se desarrollan en un clima ecuatorial mesotérmico semi - húmedo, con temperaturas medias anuales comprendidas entre los 22° C a 24° C, con una humedad relativa comprendida entre el 65 % y el 85 %. En cuanto a las precipitaciones anuales fluctúan entre los 1250 a 1500 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas: de febrero a mayo; y de octubre

- a noviembre. La estación seca principal de junio a septiembre es generalmente muy marcada, en cuanto a la segunda, su duración y localización en el tiempo es mucho más aleatoria, aunque se puede adelantar, siendo por lo general inferior a tres semanas y situándose a finales de diciembre, razón por la que se la llama “veranillo del Niño”.
- ✓ De la calidad del aire, tomando en consideración los resultados de los parámetros muestreados: ruido ambiente externo y material particulado ($PM_{2,5}$ y PM_{10}) pudo constatarse que: 1) El ruido externo (de fondo) corresponde al generado por el tránsito vehicular, así como por el equipo y maquinaria operados con fines mineros de las plantas de beneficio aledañas, sin embargo, el valor de su L_{eq} de acuerdo a los informes de ensayos No. ME-0515-001-22 y No. ME-0215-001-23 concluyen que: ... “No se puede cuantificar el L_{eq} de la fuente evaluada, la diferencia aritmética entre el ruido total y el residual es menor de 3 dB”. Respecto del monitoreo al $PM_{2,5}$ y PM_{10} los resultados evidenciaron estar dentro de los límites permisibles, y por tanto fuera de los estados de alerta, alarma y emergencia de acuerdo a los valores detallados en la Tabla 1, Anexo 4 del AM 097-A, sin embargo, se recomienda que los próximos muestreos sean realizados al interior de Cayo Gold, explícitamente cerca del circuito de trituración - molienda - concentración gravimétrica a fin de evidenciar si dentro de las instalaciones la concentración ($\mu g/m^3$) de ambos parámetros se encuentra dentro de norma, de no ser el caso, se pondrán en ejecución medidas que contrarresten o eliminen el impacto.
 - ✓ En lo referente a la geología, el área ocupada se caracteriza por la presencia de lavas andesíticas, ariolíticas y piroclásticas, propias de la Formación Volcánicos Saraguros, cuyo origen se remonta al Oligoceno. Lamentablemente no se han podido determinar rasgos estructurales locales, debido a que las rocas aflorantes se encuentra muy meteorizadas y diaclasadas, sobre un relieve con pendientes suaves (0 a 5 %) y con una cota de elevación que alcanza los 640 msnm, dándole la denominación de zona deprimida, probablemente atribuida a la presencia (al occidente) del río Calera, cuyo caudal durante la época invernal es importante, pudiendo causar incluso erosión diferenciada, aspecto que marca una clara depresión.
 - ✓ Respecto de la calidad del suelo se evidencia un marcado aumento en los niveles de conductividad; y una contaminación causada por metales pesados, los cuales de acuerdo (García & Dorransoro, 2015) se clasificaron en función de si presentan o no función biológica conocida. Los oligoelementos (**función biológica conocida**) son necesarios en concentraciones bajas para el correcto desarrollo del ciclo vital de los organismos, sin embargo, pueden llegar a causar problemas de toxicidad si su concentración se ve incrementada, en este grupo y dentro del suelo ocupado por Cayo Gold se encuentran: arsénico (As), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), selenio (Se) y zinc (Zn). Aquellos metales que **no presentan función biológica conocida** (que exceden sus niveles en la superficie de Cayo Gold), y que aun así causan elevada toxicidad o problemas de funcionamiento de los organismos sea cual sea su concentración, son: cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb). En base a lo que antecede, se recomienda el empleo de halófitas, en suelos salinos podrían reducir drásticamente la conductividad eléctrica, lo que se traduciría en un mejor movimiento del agua, aireación del suelo y retención de agua disponible, que son prácticamente los factores afectados por la salinidad del suelo para con la planta (Gallart, 2017). Mientras que para los metales pesados se podría optar por el *Aloe Vera* (sábila) para la remoción de cadmio (con una capacidad desde 10 hasta 385.150 $\mu g/kg$).
 - ✓ Hidrográficamente, se encuentra en la cuenca de los ríos Puyango - Tumbes, con tributarios como: el Amarillo y Calera, que forman el río Pindo - Puyango - Tumbes, que luego de pasar la frontera con Perú desemboca en el Pacífico. Además, existe una quebrada sin nombre que es afluente del río Calera (un sistema de drenaje natural principal), la parte más alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 690 msnm, está quebrada es de naturaleza intermitente y discurre su flujo de aguas de noreste (NE) a suroeste (SO) hasta llegar a la confluencia con el río Calera, cuerpo hídrico con un flujo de aguas constante, cuyo caudal promedio es de 22,98 m^3/s . En cuanto a su calidad y a



partir de los resultados de los reportes de ensayo Nro. 2304219-AD001 y 2304219-AD002 se pudieron identificar 9 parámetros fuera de norma para la muestra₁ y muestra₂, siendo evidente una mayor concentración de estos metales en la muestra₁ y por ende excediendo en mayor cantidad el límite permitido por la norma respecto de la muestra₂. Probablemente la mayor incidencia de contaminación sobre el río Calera (de acuerdo a los resultados de la muestra₁) se deba a la ubicación del punto de muestreo, por dos razones: **1)** es la zona más angosta del río (con un ancho aproximado de 13 m); **2)** converge la quebrada sin nombre, convirtiéndose en tributaria del cuerpo hídrico y por ende de las sustancias (como los metales pesados o EPTs) y parámetros físico - químicos (como los sólidos suspendidos totales) que por ella discurren. Después de atravesar una distancia aproximada de 153 m (correspondiente al suelo ocupado por Cayo Gold) se tomó la muestra₂, sitio en el que se identificó la ampliación en casi el doble (31 m) del ancho del río, haciendo más rápida y dispersa la concentración de los parámetros que se transportan por éste.