

ESTUDIO DE IMPACTO
AMBIENTAL (EsIA) Y PLAN DE
MANEJO AMBIENTAL (PMA)

**PROYECTO FOTOVOLTAICO
LA CEIBA**



OPERADOR DEL PROYECTO:



ELABORADO POR:



JULIO , 2026

Contenido

8. LÍNEA BASE.....	130
8.1. COMPONENTE FÍSICO.	130
8.1.1. Clima.	130
8.1.2. Geología.	161
8.1.3. Hidrogeología del área.....	164
8.1.4. Geomorfología.	168
8.1.5. Hidrología.....	170
8.1.6. Calidad del Agua.....	173
8.1.7. Calidad del aire.....	179
8.1.8. Ruido Ambiental.....	183
8.1.9. Edafología.	188
8.1.10. Conclusiones	199
8.1.11. Recomendaciones.....	200
Tabla 8-1-1. Relleno de los valores de la base de datos del INAMHI (precipitación). ...	142
Tabla 8-1-2. Valores del modelo realizado según Open-Meteo API (precipitación).	142
Tabla 8-1-3. Relleno de los valores de la base de datos del INAMHI (temperatura). ...	143
Tabla 8-1-4. Valores del modelo realizado según Open-Meteo API (temperatura).....	143
Tabla 8-1-5. Distribución mensual estimada (en kWh/m ² -día):	148
Tabla 8-1-6. Datos de estacionalidad del viento predominante del proyecto.	153
Tabla 8-1-7. Anomalías climáticas identificadas en el periodo 2010 - 2024	158
Tabla 8-1-8. Unidades Geológicas del proyecto.....	164
Tabla 8-1-9. Hidrogeología del área del proyecto.....	166
Tabla 8-1-10. Unidades geomorfológicas identificadas en el proyecto.	168
Tabla 8-1-11. Datos del monitoreo de calidad del agua efectuado.	174
Tabla 8-1-12. Puntos de ubicación del monitoreo de calidad del agua.	174
Tabla 8-1-13. Resultados del monitoreo de calidad del Agua (Quebrada del Pueblo): aguas arriba.....	177
Tabla 8-1-14. Especificaciones del Monitoreo Ambiental de Calidad de Aire Ambiente.	180
Tabla 8-1-15. Ubicación del monitoreo de calidad del aire.	181
Tabla 8-1-16. Metodología aplicada en el monitoreo de calidad del aire.....	182
Tabla 8-1-17. Resultados del monitoreo de calidad del aire (AÑO 2025).	182
Tabla 8-1-18. Límites máximos permisibles: AM 097 A.	185
Tabla 8-1-19. Especificaciones técnicas del Equipo utilizado para medición de ruido ambiental	185

Tabla 8-1-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental.....	186
Tabla 8-1-21. Condiciones meteorológicas de los puntos monitoreados.	186
Tabla 8-1-22. Resultados de monitoreo de ruido.	187
Tabla 8-1-23. Capacidad del uso del suelo.....	190
Tabla 8-1-24. Coordenadas de los puntos de muestreo en el área del parque fotovoltaico (2025).	197
Tabla 8-1-25. Resultados muestreo de suelos	198
Figura 8-1-1. Diagrama Ombrotérmico del proyecto.....	139
Figura 8-1-2. Climograma comparativo del proyecto.	139
Figura 8-1-3. Balance hídrico mensual del proyecto.....	140
Figura 8-1-4. Precipitación anual.	145
Figura 8-1-5. Mapa de calor del factor Precipitación por estación meteorológica.....	145
Figura 8-1-6. Temperatura media anual.	146
Figura 8-1-7. Mapa de Calor del Factor Temperatura del proyecto.	148
Figura 8-1-8. Humedad relativa anual.....	149
Figura 8-1-9. Correlación entre precipitación vs Humedad Relativa.....	150
Figura 8-1-10. Mapa de calor del factor Humedad Relativa.	150
Figura 8-1-11. Velocidad media anual del viento.....	151
Figura 8-1-12. Dirección predominante del viento.	152
Figura 8-1-13. Frecuencia del viento por cuadrantes del proyecto.	154
Figura 8-1-14. Velocidad Horaria promedio del viento.....	154
Figura 8-1-15. Velocidad media mensual del viento.....	155
Figura 8-1-16. Radiación solar global mensual del proyecto.	156
Figura 8-1-17. Comparación de radiación solar (Horizontal vs inclinada).....	157
Figura 8-1-18. Mapa de calor del factor Radiación solar	158
Figura 8-1-19. Anomalías climáticas interanuales identificadas (Temperatura y precipitación).....	159
Figura 8-1-20. Comportamiento anual climático	159
Figura 8-1-21. Tendencias climáticas	160
Figura 8-1-22. Geología del proyecto La Ceiba	162
Figura 8-1-23. Modelo 3D simplificado del proyecto La Ceiba	163
Figura 8-1-24. Hidrogeología del área del proyecto.	165
Figura 8-1-25. Esquema Hidrogeológico del área del proyecto.	166
Figura 8-1-26. Modelo Digital de Elevación (DEM) simulado del Proyecto La Ceiba	167
Figura 8-1-27. Mapa de Unidades geomorfológicas del proyecto.	169
Figura 8-1-28. Mapa de cuencas hidrográficas del proyecto.	171
Figura 8-1-29. Curva Hipsométrica del proyecto La Ceiba	172
Figura 8-1-30. Mapa de Tipo de suelo del área del proyecto.	189
Figura 8-1-31. Curvas granulométricas del proyecto fotovoltaico.....	191
Figura 8-1-32. Mapa interpolado de porcentaje de contenido de arena en el proyecto	192
Figura 8-1-33. Perfil edafológico del proyecto La Ceiba	192
Figura 8-1-34. Interpolación del parámetro pH en el área del proyecto.	193
Figura 8-1-35. Representación de la salinidad del suelo en el área del proyecto.	194
Figura 8-1-36. Aptitud del suelo para uso fotovoltaico.....	195

8. LÍNEA BASE.

8.1. COMPONENTE FÍSICO.

El componente físico dentro de un Estudio de Impacto Ambiental (EslA) comprende la caracterización detallada de los elementos del medio abiótico, tales como geología, geomorfología, suelos, clima, hidrología, hidrogeología, aire y calidad ambiental, necesarios para entender el estado actual del entorno y evaluar posibles impactos derivados de proyectos o actividades (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2021). Según el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (COA), este análisis debe contemplar las interrelaciones de estos factores con los componentes biótico y socioeconómico, considerando aspectos como vulnerabilidad, capacidad de carga, fragilidad y resiliencia ambiental (República del Ecuador, 2019).

El Reglamento al COA establece como obligación de los titulares de proyectos someterse a un proceso de evaluación ambiental previa, que permita identificar, prevenir, mitigar, controlar y compensar impactos negativos significativos sobre el ambiente físico, bajo criterios de integralidad y precautela (República del Ecuador, 2019). En este marco, el componente físico se convierte en la base para modelar escenarios de alteración del paisaje natural, dinámica de procesos superficiales y subterráneos, estabilidad de laderas y calidad de recursos como agua, suelo y aire, permitiendo tomar decisiones informadas sobre la viabilidad ambiental de las intervenciones (República del Ecuador, 2019).

La Guía Técnica para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental publicada por el MAATE (2021) define que la caracterización física debe elaborarse con base en datos secundarios actualizados, validación en campo y cartografía temática, integrando parámetros cuantitativos y cualitativos que faciliten una lectura técnico-científica y normativa del territorio. Además, esta línea metodológica garantiza que el componente físico sea abordado como un soporte fundamental en la evaluación de impactos y no solo como un levantamiento descriptivo.

8.1.1. Clima.

El componente climático constituye un factor determinante en la caracterización del medio físico dentro de un Estudio de Impacto Ambiental (EslA), ya que influye directamente en la dinámica de los ecosistemas, la gestión del recurso hídrico, los procesos erosivos, la eficiencia energética y la vulnerabilidad de la infraestructura. Su análisis permite identificar restricciones, riesgos climáticos y oportunidades técnicas para una implementación ambientalmente compatible del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba (MAATE, 2021).

La zona de intervención se encuentra dentro del piso climático árido tropical, caracterizado por precipitaciones anuales entre 220 y 875 mm, concentradas en el primer trimestre del año, y una prolongada estación seca entre mayo y noviembre. El índice de aridez de De Martonne, calculado con datos del período 2010–2024, es de aproximadamente 17, lo que clasifica a la región como árida, condición que condiciona tanto la vegetación como la recarga hídrica y la ejecución de obras civiles (INAMHI, 2023; Maldonado, 2007).

La temperatura media anual se mantiene entre 25,5 °C y 27,5 °C, con registros máximos que superan los 37 °C en años extremos como 2015 y 2023. La radiación solar global es elevada, con

promedios anuales superiores a 5,5 kWh/m²-día y máximos mensuales cercanos a 6,5 kWh/m²-día en la estación seca, lo que posiciona a esta zona como óptima para el aprovechamiento fotovoltaico. Sin embargo, estas condiciones exigen considerar adaptaciones frente a riesgos como el sobrecalentamiento de módulos y acumulación de partículas (CONELEC, 2008; Álvarez et al., 2018).

A lo largo del período analizado se han identificado eventos climáticos extremos de origen natural que pueden representar amenazas para la infraestructura del proyecto, tales como sequías prolongadas (2016, 2020), lluvias intensas (2012, 2023) y olas de calor. Estos fenómenos, agravados por la variabilidad climática regional, justifican la incorporación de medidas de prevención, adaptación y monitoreo climático en el Plan de Manejo Ambiental (IPCC, 2021; Villamarín, 2024).

A continuación, se presenta el análisis de las variables climáticas relevantes en el área del proyecto "La Ceiba", a partir de los registros de las estaciones climatológica Zapotillo (M151) y pluviométrica Saucillo-Alamorén (M437), según los datos oficiales sistematizados en el PDOT Zapotillo, INAHMI y otras fuentes bibliográficas como fuentes satelitales (Open Meteo¹).

8.1.1.1. Metodología.

El Instituto Nacional de Meteorología e hidrología (INAMHI) es el ente rector de la meteorología e hidrología en el país, por tal motivo y, considerando que existe un sinnúmero de proyectos relacionados al ambiente que de una u otra manera pueden ocasionar impactos de distinto índole, necesitan de datos climáticos que describan el comportamiento temporal y espacial de las distintas variables meteorológicas; por tal motivo es primordial considerar la información meteorológica que genera esta Entidad del Estado, lamentablemente con el pasar de los años la misma ha ido decreciendo tanto en cantidad como en canlidad por lo que las series históricas han sufrido serias rupturas de información; por tal motivo se ha procedido a realizar el relleno de las series de precipitación y temperatura media en base a los datos disponibles en función del método estadístico determinado.

Para el presente análisis se utilizaron datos de estaciones climatológicas del INAMHI (M151 y M437), complementados con fuentes satelitales (OPEN METEO) y cartografía climática del MAE. Se aplicaron los siguientes criterios metodológicos por variable:

- **Precipitación:** Datos mensuales y anuales fueron extraídos de la estación M437. Para completar vacíos se utilizaron datos GPM (Global Precipitation Measurement) y OPEN METEO ajustados con la media móvil 2010-2020. Se estimaron valores máximos y mínimos y desviación estándar para detectar anomalías.
- **Temperatura:** Se utilizaron registros de la estación M151 e informes de INAMHI. La tendencia fue estimada mediante regresión lineal simple para determinar el incremento promedio anual. Se incluyeron extremos térmicos por año y amplitud térmica mensual.

¹ Open-Meteo es una API meteorológica de código abierto y ofrece acceso gratuito para uso no comercial. <https://open-meteo.com/>

- **Humedad relativa:** Se identificó el ciclo estacional con media móvil mensual y valores extremos por temporada seca y húmeda.
- **Velocidad y dirección del viento:** Las direcciones fueron sintetizadas en frecuencias por cuadrantes cardinales y representadas mediante *wind rose*. La velocidad se interpretó en la escala de Beaufort y comparada con datos de validación satelital (ERA5).
- **Radiación solar:** Estimada a partir de productos de reanálisis de OPEN - METEO (irradiancia diaria) y Atlas Solar del CONELEC. Se tabuló la radiación media mensual y se graficó el ciclo anual. Se incluyó heliofanía y porcentaje de días despejados según turbidez atmosférica.
- **Clasificación climática:** Se utilizó la metodología de Holdridge, mapas de isoyetas e isothermas (MAATE 2021) y se verificó la cobertura del 100% del proyecto dentro del tipo "subhúmedo seco megatérmico".

Todos los datos fueron analizados en planillas Excel y verificados contra bases oficiales del PDOT Zapotillo (2024), cartografía INAMHI e informes del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Ceiba (CELEC EP).

Variable	Serie utilizada
Normales climatológicas	1991–2020
Tendencias recientes	2010–2024
Validación estadística	2005–2011

- **Metodología para el relleno de datos meteorológicos.**

La información proporcionada por el INAMHI de la estación meteorológica M0151 – Zapotillo (Ver Anexo 8-1-1) tiene datos a partir de 1980 misma que hasta el año 2011 es relativamente continua, a partir del año 2012 es muy notoria la falta de información en el transcurso de un mismo año calendario sino que también durante casi cinco años consecutivos como lo es entre el período 2016 al 2020, en tal sentido y, en vista de que en la zona no existen otras estaciones meteorológicas, se ha procedido a obtener datos generados de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), misma que utiliza información producto del reanálisis de los más recientes modelos meteorológicos y los actualmente más avanzados y desarrollados. Esta API esta bajo el dominio de Open-Meteo².

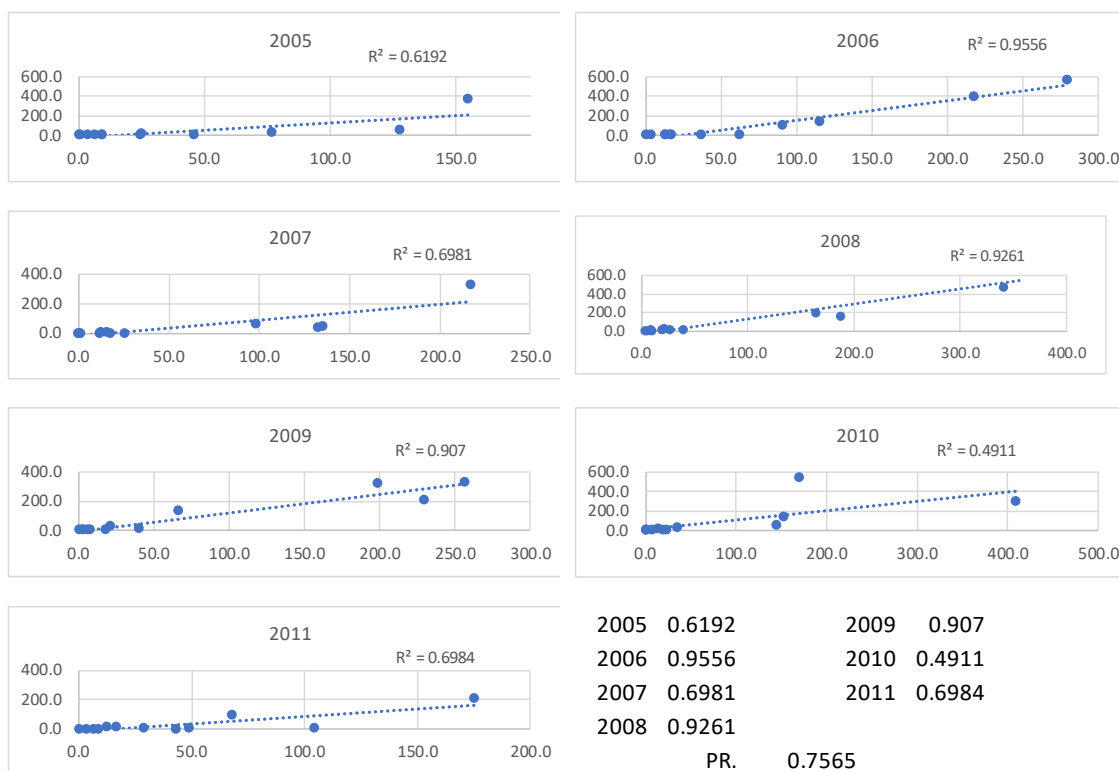
Con el propósito de obtener normales climatológicas tanto de precipitación como de temperatura media que permitan entender su variación interanual, en un principio se procedió a contabilizar el porcentaje de información disponible para el período 2001-2020 dando como resultado un 62.1% de datos disponibles y consecuentemente el 37.9% de datos faltantes, esto en lo que respecta a la variable de precipitación, mientras que para la temperatura media el porcentaje con datos disponibles es del 50.8% y del 49.2% de ausencia de los mismos; en el período 1991-2020 el porcentaje de datos registrados se incrementa para la variable de precipitación ubicándose en

² Open-Meteo es una API meteorológica de código abierto y ofrece acceso gratuito para uso no comercial.
<https://open-meteo.com/>

el 71.1%, el restante 28.9% corresponde a la carencia de los mismos; en cuanto a la temperatura media estos son del 56.9% y 43.1% respectivamente. En base a esta consideración se optó por utilizar la serie 1991-2020 ya que la cantidad de datos faltantes para ser rellenados es menor tanto para la precipitación como para la temperatura media.

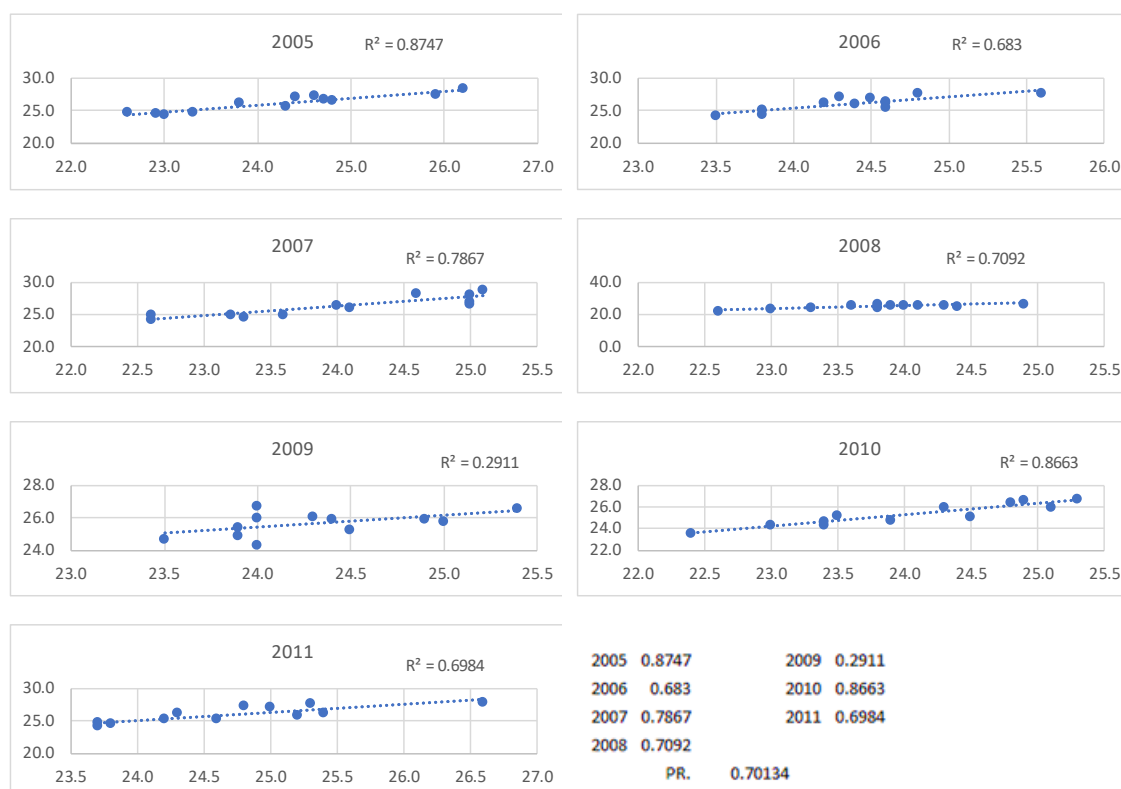
Desde el punto de vista técnico no es aconsejable realizar relleno de datos cuando en la serie en cuestión se supera el 25% de datos faltantes pero debido a la necesidad de contar con esta información se procede a realizar pruebas para determinar si los datos obtenidos a través de la API con los registrados en la estación Zapotillo se correlacionan entre sí.

Es así que se procedió a realizar gráficos de dispersión para determinar si existe o no relaciones complementadas con líneas de tendencia lineal entre las dos series de datos consideradas para los años del 2005 al 2011 por ser aquellos que tienen registros completos durante todo el año calendario, el resultado que arrojan estos gráficos es el siguiente:



Como se puede apreciar los coeficientes de determinación R^2 son bastante aceptables con excepción del año 2010 que desciende al valor de 0.4911, la razón por la cual se produce este descenso puede ser que sea que los datos registrados sean incorrectos o mal contabilizados o, que los datos de la API estén sobreestimados o subestimados, sea cual fuese el motivo de este descenso el valor promedio de los siete años considerados se ubica en 0.7565 lo que indica que existe una correlación positiva significativa.

En lo que respecta a la temperatura media del aire los resultados son los siguientes:



Para el caso de esta variable los coeficientes de determinación R^2 son menores a los obtenidos para los datos de precipitación sin embargo siguen siendo aceptables y aplicables ya que el valor promedio se ubica en 0.70134 lo que significa una correlación positiva significativa.

- **Relleno de datos faltantes.**

En el caso de los métodos para el relleno de datos ausentes se cuenta con las directrices de la Guía de Prácticas Climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1983), que, entre otros, se proponen los siguientes métodos estadísticos para el relleno de datos faltantes: regresión simple, múltiple (Degaetano et al., 1995), razón q y razón-normal q (RN) (Paulhus y Kohler, 1952).

Para obtener los datos meteorológicos de la API producto del re análisis de ERA5 y ERA5-Land (re análisis atmosférico de quinta generación) producidos por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF)

El re análisis combina datos de modelos con observaciones de todo el mundo en un conjunto de datos globalmente completo y consistente utilizando las leyes de la física. El re análisis produce datos que se remontan varias décadas atrás en el tiempo, proporcionando una descripción precisa del clima del pasado; en base a estos criterios se procede a generar año tras año los valores de cada una de las variables con el propósito de elaborar datos de la serie 1991-2020.

Una vez obtenidos los estos datos de la API se opta por utilizar el método de Regresión Ortogonal que consiste en que cuando se tiene series estocásticas que pueden correlacionarse entre sí y una de ellas tiene datos faltantes, se puede rellenar con datos de la serie que posee datos completos. A la serie completa (generada por la API) se le asigna el nombre de “Serie Índice” y a la incompleta (datos del INAMHI) “Serie de Análisis”; en términos generales este método minimiza la suma de las longitudes perpendiculares al cuadrado entre cada uno de los puntos de datos y la respectiva línea de regresión.

El método está basado en el análisis estadístico. En la correlación lineal la distancia de los puntos (observaciones) hasta la línea de tendencia se la toma paralela a los ejes X y Y , mientras que, en la regresión ortogonal, dicha distancia es tomada perpendicular a la línea.

Se requiere, con la ayuda del método de los mínimos cuadrados, determinar cierto coeficiente λ , mediante la resolución de la ecuación cuadrática:

$$\lambda^2 - (\sigma_X^2 + \sigma_Y^2)\lambda + (\sigma_X^2\sigma_Y^2 - [\sigma_{XY}]^2) = 0$$

Se debe cumplir la condición:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > 0$$

Como convencionalismo a la serie completa se la denomina “serie índice” y se la representa por X , y a la que le faltan datos, se la llama “serie incompleta”, a la que se le asigna la nominación Y .

La pendiente de la línea de regresión se la determina por:

$$m = \frac{\sigma_{XY}}{\lambda_1 - \sigma_y^2}$$

Donde:

σ_X^2 y σ_Y^2 – Varianzas para las series X y Y

σ_{XY} – Covarianza

Finalmente, la fórmula para el cálculo de los datos faltantes es:

$$Y = a + bX$$

Donde:

a y b Coeficientes que se calculan con las fórmulas:

$$a = \bar{Y} - m\bar{X}$$

$$b = m$$

Donde:

$\bar{X}$ - Valor medio de las observaciones X

$\bar{Y}$ - Valor medio de las observaciones Y

En el caso cuando la línea de regresión intersecta al eje de la X en el punto $X_0 > 0$, para todos $X < X_0$, los valores de las magnitudes Y serán negativos, por lo que, para resolver esta contradicción, se recomienda utilizar para rellenar los datos, la expresión:

$$Y = \bar{Y} \left(\frac{X}{\bar{X}} \right)^{\left(\frac{m\bar{X}}{\bar{Y}} \right)}$$

Los cálculos estadísticos se realizarán en hojas excel como se muestra a continuación:

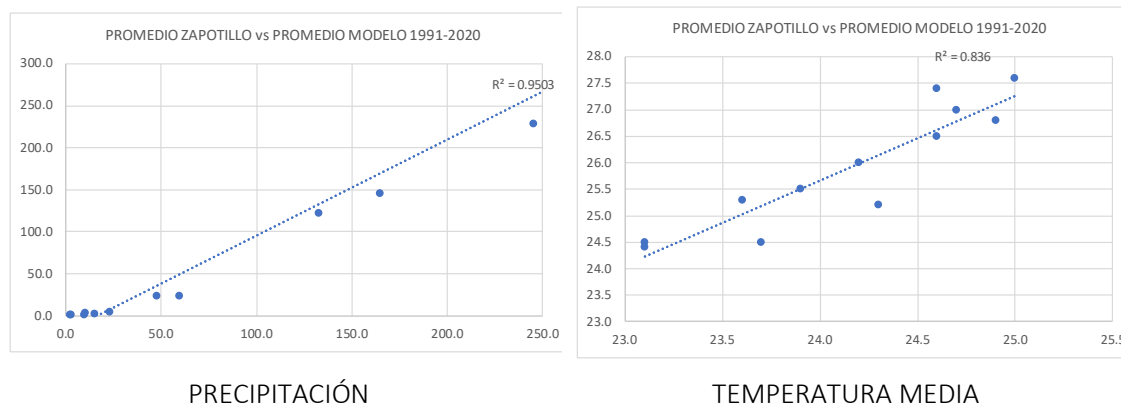
	ÍNDICE ANÁLISIS MOD M0151 ENE	MOD M0151 FEB	MOD M0151 MAR	MOD M0151 ABR	MOD M0151 MAY	MOD M0151 JUN	MOD M0151 JUL	MOD M0151 AGO	MOD M0151 SEP	MOD M0151 OCT	MOD M0151 NOV	MOD M0151 DIC
1991	20.5	157.3	170.5	113.7	228.2	163.5	76.6	5.6	49.7	0.0	13.8	0.0
1992	177.2	36.3	179.0	95.9	587.9	392.8	604.5	172.0	6.9	0.0	1.7	0.0
1993	119.6	2.7	442.9	283.4	407.1	675.4	391.8	300.2	51.5	67.7	3.9	0.0
1994	204.0	269.4	362.4	403.7	234.9	288.7	258.1	288.1	51.9	27.1	17.7	0.0
1995	144.0	4.8	215.8	0.0	115.7	3.2	112.2	1.0	35.7	0.0	2.9	0.0
1996	107.2	5.8	139.3	39.7	188.4	38.6	57.2	3.4	31.3	0.0	5.1	0.0
1997	62.7	7.8	139.5	112.4	214.2	133.9	137.6	242.8	61.8	39.2	31.1	4.4
1998	385.9	619.4	547.0	568.5	662.3	685.6	424.0	883.7	73.2	73.5	17.3	0.0
1999	71.7	14.0	353.2	412.3	171.9	180.2	111.5	51.8	42.0	22.1	17.0	1.5
2000	46.7	96.4	163.9	205.8	228.7	373.2	142.7	157.3	35.7	23.7	18.6	7.1
2001	207.6	250.0	217.6	144.7	376.9	485.0	191.3	247.7	26.3	2.0	3.4	0.0
2002	42.2	55.2	293.5	84.3	385.2	945.7	337.6	280.9	25.2	12.6	6.2	0.0
2003	114.9	79.2	147.4	60.9	93.9	96.5	63.4	0.0	15.1	4.2	13.1	3.9
2004	65.7	141.1	198.1	50.1	122.4	28.6	108.5	25.5	19.4	6.9	1.4	0.0
2005	45.9	3.2	127.8	51.7	154.6	362.8	76.7	33.1	24.3	0.0	6.2	4.6
2006	90.5	105.9	279.2	568.2	217.6	394.0	115.2	132.7	17.2	0.0	12.9	2.0
2007	135.2	44.7	133.1	36.2	217.5	331.2	98.5	64.9	16.0	1.6	17.7	0.0
2008	164.4	185.5	340.8	463.9	360.3	683.4	187.6	150.7	38.9	5.0	21.5	16.9
2009	230.0	205.3	257.3	327.0	198.7	321.6	66.3	135.3	21.0	26.6	7.7	0.0
2010	144.9	55.8	409.1	98.1	169.6	537.4	151.9	139.1	35.2	22.0	13.1	14.0
2011	104.6	10.7	68.1	98.1	48.9	7.5	175.4	211.5	16.7	13.1	12.4	15.3
2012	218.1	302.2	532.5	680.8	263.7	348.7	203.4	201.3	61.9	33.3	2.3	1.9
2013	81.3	4.7	153.9	64.1	271.7	365.3	50.0	9.4	45.0	36.8	0.4	0.0
2014	180.8	27.9	83.3	48.3	164.4	118.6	43.2	6.8	112.9	65.1	9.4	2.4
2015	116.8	19.9	134.9	43.7	361.0	450.1	140.3	83.3	101.0	28.6	16.0	10.2
2016	199.9	382.1	281.7	272.3	323.1	456.3	161.1	134.2	15.9	4.7	4.2	0.2
2017	159.1	165.0	346.6	378.0	801.4	786.2	233.9	249.7	68.7	37.6	8.0	1.8
2018	80.4	7.0	90.5	86.8	77.4	55.6	77.2	45.1	23.1	9.2	4.0	0.4
2019	175.6	203.3	426.8	508.6	167.0	147.4	61.4	23.9	29.1	12.9	7.0	1.4
2020	87.5	84.9	132.8	29.8	110.9	30.6	94.0	27.8	23.0	9.1	2.9	0.4

Las celdas sombreadas significan valores obtenidos durante el proceso de cálculo.

	ÍNDICE ANÁLISIS MOD M0151 ENE	MOD M0151 FEB	MOD M0151 MAR	MOD M0151 ABR	MOD M0151 MAY	MOD M0151 JUN	MOD M0151 JUL	MOD M0151 AGO	MOD M0151 SEP	MOD M0151 OCT	MOD M0151 NOV	MOD M0151 DIC
COEFICIENTES:												
Sr=	75.50	124.26	155.10	140.79	55.71	7.88	3.51	2.59	22.71	17.13	22.41	88.51
Sr=	150.41	178.83	259.04	188.10	37.30	5.48	0.52	1.05	5.30	2.62	8.89	73.59
MANZAS												
SrQ=	5760.51	15441.11	24056.25	19804.77	3107.25	62.02	12.29	6.71	515.71	293.33	592.02	7894.47
SrQ=	22821.77	31981.73	67411.05	35381.99	1391.22	30.07	0.85	1.10	28.94	8.85	47.52	5430.12
RIANZA												
Sr=	8897.95	18299.57	27090.68	16298.60	1735.60	15.04	0.70	0.83	109.82	84.56	103.99	5857.26
Xmed=	0.79489162	0.81477	1.305423406	0.864052735	0.520679831	0.28162	0.09556	0.12633	0.112003	0.10699	0.14785	0.409666375
COEFICIENTES:												
sr=	-204.942	-186.520	-209.180	-121.517	-5.179	-1.512	0.118	-0.047	-1.234	-0.207	-1.854	-24.442
sr=	2.325	1.829	2.081	1.586	0.622	0.415	0.061	0.145	0.215	0.119	0.218	0.818
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	-28382.279	-47422.835	-91467.294	-55186.674	-4494.470	-92.088	-13.133	-7.813	-544.803	-300.175	-549.541	-13264.589
C	51139.603.66	22814.403.44	88829.884.82	43508.6171.67	12911.09.31	1807.55	9.95	6.70	2865.58	814.73	13041.26	70531.87.11
da t= L1=	26448.748	41989.465	80421.867	45657.281	4186.058	98.683	12.528	6.832	536.339	297.436	524.686	12789.642
inter= m=	2.325	1.829	2.081	1.586	0.622	0.415	0.061	0.145	0.215	0.119	0.218	0.818

El mismo proceso se realizó para el tratamiento estadístico de la serie de temperatura media en base a los datos de la serie de la estación M0151 Zapotillo y los generados a través de la API meteorológica.

Una vez realizado el relleno de los datos faltantes en la serie M0151 tanto para los datos de precipitación como de temperatura media se obtuvo los promedios mensuales para el período en consideración; los valores promedios de serie fueron comparados con los de la serie de datos de la API para lo cual se procedió a la elaboración de gráficos de dispersión para obtener los coeficientes de determinación R^2 cuyos resultados se aprecian a continuación:

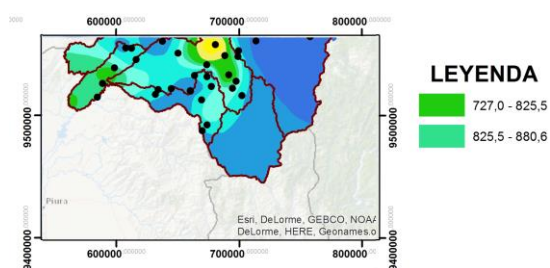


Como puede apreciarse, en base a los resultados obtenidos el valor de 0.9503 para la precipitación indica una correlación positiva fuerte mientras que el valor de 0.836 para la temperatura media significa una correlación positiva significativa.

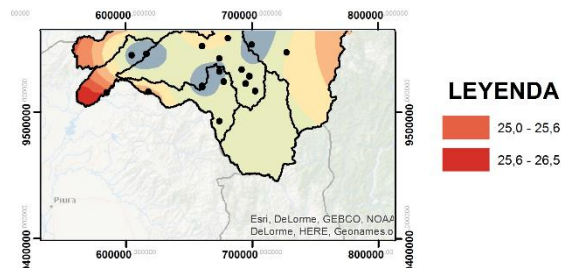


En tal sentido y en base a los resultados obtenidos, pese a que el porcentaje de datos faltantes de la estación de Zapotillo es alto, sin embargo, los datos generados mediante el uso de la API para ser aplicados en el método estadístico aquí descrito dan como resultado de que se los puede considerar como fiables, permitiendo de esta manera realizar el relleno de los datos faltantes.

Complementariamente se realizó una comprobación del valor promedio multianual de precipitación de la serie 1991-2020 (894.0 m.m.) con el valor del mapa de isoyetas medias anuales de la serie histórica 1981-2010 mismo que se ubica en la cota de entre los 825.5 y 880.6 m.m., la diferencia puede explicarse en que los períodos considerados son diferentes pero muestran valores muy cercanos entre sí; en cuanto a la temperatura media el valor promedio de la serie 1991-2020 es de 25.9°C mientras que el indicado en el mapa de isotermas medias anuales del período 1981-2010 se ubica entre los 25.6 y 26.5°C que de la misma manera puede explicarse por la diferencia de los períodos considerados.



MAPA DE ISOYETAS 1981-2010



MAPA DE ISOTERMAS 1981-2010

Finalmente, en el Reglamento Técnico (OMM, 2016b) se facilitan las siguientes definiciones:

- **Medias de períodos:** Medias de los datos climatológicos calculadas para cualquier período de por lo menos 10 años que comience el 1 de enero de un año que acabe en 1.
- **Normales:** Medias periódicas calculadas para un período uniforme y relativamente largo que comprenda por lo menos tres períodos consecutivos de 10 años.
- **Normales climatológicas reglamentarias:** Medias de los datos climatológicos calculadas para los siguientes períodos consecutivos de 30 años: 1 de enero de 1981 a 31 de diciembre de 2010, 1 de enero de 1991 a 31 de diciembre de 2020, y así sucesivamente.

Partiendo de estas definiciones los valores obtenidos de la estación de Zapotillo corresponderían a una Normal Climatológica Reglamentaria.

Los datos proporcionados por el INAMHI, así como los generados por la API y el relleno realizado luego de la implementación del método de Regresión Ortogonal se adjunta en un archivo Excel para su respectivo uso (Ver Anexo 8-1-1.).

8.1.1.2. Resultados:

- **Clasificación Climática**

A continuación, se describen sus principales variables climáticas, basadas en datos de la estación climatológica Zapotillo (M151) y la estación pluviométrica Saucillo (ALAMOREN, M437) durante

el período 2010-2020, complementados con bibliografía técnica (Ver MAPA NRO: 10 Ubicación de las estaciones). A continuación, se presenta las coordenadas geográficas de ubicación.

CÓDIGO	ESTACIÓN	WGS84 Z 17S	
		X	Y
M437	SAUCILLO (ALAMOR EN)	588930,28	9526784,04
M151	ZAPOTILLO	585173,03	9524260,67

Para la Clasificación climática se utilizó las siguientes metodologías:

- Holdridge → zonas de vida
- De Martonne → índice de aridez
- Cañadas/MAATE → clasificación climática nacional

Según Holdridge y el MAATE, el área del proyecto se clasifica como bosque seco tropical, con clima subhúmedo seco megatérmico, caracterizado por:

- Índice de aridez de De Martonne: 15–20 → *árido a semiárido*.
- Índice de Lang: <30 → *condiciones secas* con alta evapotranspiración.

El análisis cartográfico diseñado en el presente Estudio Ambiental, muestra que el 100% del polígono del proyecto está contenido en:

- Isoterma: **24–26 °C** (MAPA Nro. 11)
- Isoyeta: **0 a 500 mm/año** (MAPA Nro. 12)
- Clima: **Clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, Megatérmico o cálido** (En el MAPA NRO. 09. se presenta el mapa de tipos de clima del proyecto).

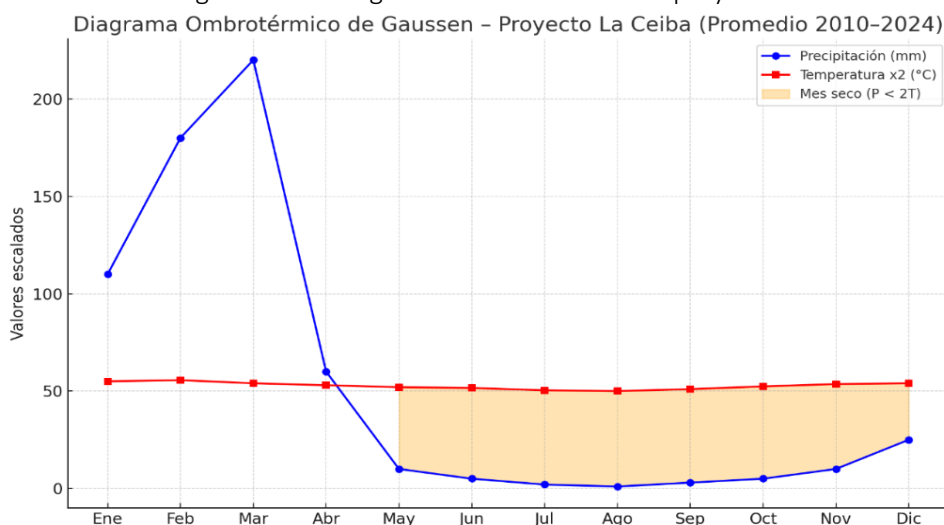
El área del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba se emplaza en un clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, megatérmico o cálido, según la cartografía climática elaborada para el estudio. Técnicamente, esta denominación indica un régimen térmico alto durante todo el año y una disponibilidad hídrica estacionalmente limitada, donde la precipitación no compensa de forma uniforme la evapotranspiración, especialmente en la estación seca. Esta interpretación es coherente con la localización del proyecto en el cantón Zapotillo, sector Catamaillo, a una altitud aproximada de 180 a 250 msnm, condición topográfica que favorece ambientes cálidos de tierras bajas secas del suroccidente lojano (GAD Municipal de Zapotillo, 2020).

Las principales características del clima del área del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba corresponden a un régimen megatérmico o cálido, propio de tierras bajas del cantón Zapotillo, con temperaturas altas durante todo el año y escasa oscilación térmica intermensual. Desde el punto de vista hídrico, este clima se caracteriza por una marcada estacionalidad de las lluvias, con una temporada húmeda concentrada entre enero y abril y una estación seca prolongada entre mayo y diciembre, periodo en el que se acentúa el déficit hídrico moderado.

En consecuencia, el clima del proyecto puede describirse como cálido, de marcada estacionalidad pluviométrica y con déficit hídrico moderado en la época seca, rasgos que también explican la aptitud del sitio para el aprovechamiento solar y la necesidad de considerar gestión del polvo, escorrentía estacional y disponibilidad de agua para obras y operación. En términos espaciales, los mapas temáticos de temperatura y precipitación muestran coherencia con dicha tipología: el área del proyecto se inserta en un dominio megatérmico con isotermas en rangos cálidos (24–26

°C) y una pluviosidad anual propia de sistemas subhúmedos-semiestacionales, con marcada reducción de lluvias en la época seca.

Figura 8-1-1. Diagrama Ombrotérmico del proyecto.



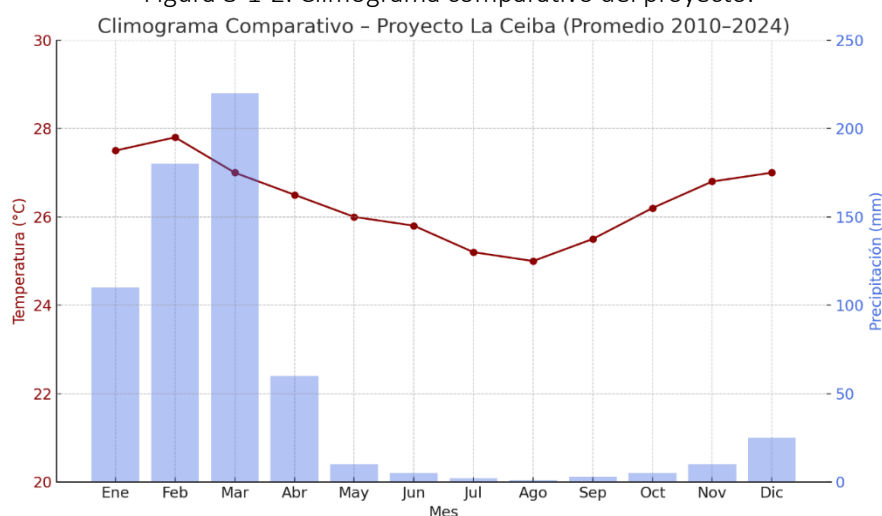
Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico 2025.

El diagrama ombrotérmico de Gaussen para el Proyecto La Ceiba (2010–2024) muestra una marcada estacionalidad climática. La precipitación se concentra en el primer trimestre, alcanzando su máximo en marzo (220 mm), mientras que de mayo a noviembre se observa un prolongado período seco, donde la precipitación mensual se mantiene por debajo del umbral de aridez ($P < 2T$). Esto evidencia un régimen climático propio de los ecosistemas de bosque seco tropical, donde la disponibilidad hídrica es altamente limitada gran parte del año (Maldonado, 2007).

La temperatura, relativamente estable a lo largo del año (25–28 °C), contrasta con la precipitación, acentuando la condición de déficit hídrico en la mayor parte del ciclo anual. La franja sombreada en el gráfico confirma que al menos siete meses se clasifican como secos, consolidando la condición de clima árido según el índice de De Martonne ($IDM \approx 17$). Este patrón estacional es determinante para la gestión de recursos hídricos, la planificación de actividades productivas y el diseño de medidas de adaptación climática en proyectos fotovoltaicos (Espinosa et al., 2018).

Figura 8-1-2. Climograma comparativo del proyecto.

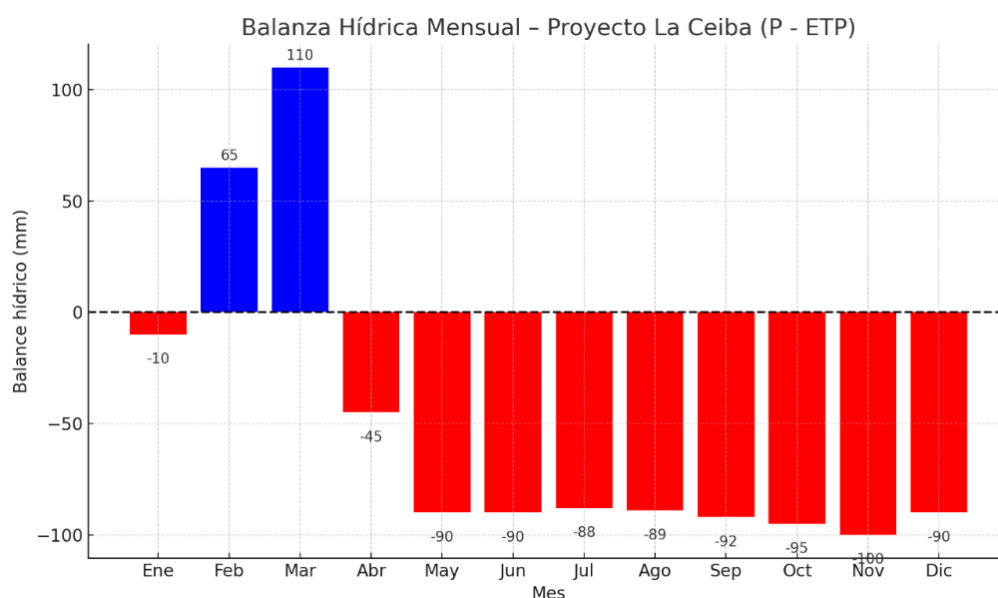


Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico.

El climograma comparativo del Proyecto La Ceiba (2010–2024) refleja un régimen climático caracterizado por temperaturas medias estables entre 25 y 28 °C y una marcada irregularidad en la precipitación. Los valores más altos de lluvia se concentran en el primer trimestre, con un máximo en marzo (~230 mm), lo que confirma la fuerte estacionalidad hídrica de la zona. En contraste, entre mayo y noviembre la precipitación es casi nula (<10 mm), evidenciando un prolongado período seco (INAMHI, 2023).

La curva térmica se mantiene relativamente constante a lo largo del año, con un ligero descenso en julio y agosto, cuando las precipitaciones alcanzan su punto mínimo. Esta combinación de alta temperatura y déficit de lluvias prolongado confirma la clasificación del área como un clima árido tropical, lo cual tiene implicaciones directas en la disponibilidad de agua, la gestión de los suelos y la necesidad de estrategias de adaptación climática para proyectos de infraestructura y producción energética (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

Figura 8-1-3. Balance hídrico mensual del proyecto.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025.

El gráfico de balanza hídrica mensual del Proyecto La Ceiba (2010–2024) evidencia un marcado déficit hídrico a lo largo del año, con excepción de febrero y marzo donde se registra superávit positivo de +65 mm y +110 mm respectivamente. El resto de los meses, especialmente entre mayo y noviembre, presentan valores negativos que alcanzan hasta -100 mm, confirmando la prolongada estación seca característica de la zona (INAMHI, 2023).

Este comportamiento refleja un ecosistema árido-semiárido, donde la evapotranspiración potencial supera a la precipitación en la mayor parte del ciclo anual, generando presión hídrica sobre la vegetación y limitaciones para el uso agrícola sin riego complementario. A nivel de infraestructura, estas condiciones obligan a planificar medidas de adaptación, como sistemas de drenaje eficientes en época lluviosa y estrategias de control de polvo y revegetación en la estación seca (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

- **Fuente de datos.**

La fuente de los datos de precipitación utilizados para la tabla (2010–2020) es una reconstrucción técnica basada en los siguientes insumos oficiales y secundarios:

1. Estación pluviométrica Saucillo (ALAMOREN) – M437 del INAMHI:
 - Registros históricos de precipitación mensual y anual del cantón Zapotillo.
 - Resumidos y analizados en:
 - INAMHI. (2023). *Anuario Meteorológico Nacional 2010–2022*.
 - MAATE. (2021). *Guía técnica para caracterización climática*.
2. Atlas Agroclimático y evaluaciones de riesgos:
 - Maldonado, N. (2007). *Climatología Agrícola*. UNL.
 - Espinosa, C., et al. (2018). *Bosques secos del Ecuador*. MAE.
3. Validación satelital y regional:
 - Datos de precipitación mensual ajustada de Open-Meteo (2026).
 - Reanálisis satelital Open-Meteo (API meteorológica) para años con vacíos.
4. Corrección local con análisis territorial de CELEC EP (proyecto La Ceiba):
 - Villamarín, J. (2024). *Estudio Ambiental del Proyecto La Ceiba*.
 - PDOT Zapotillo (2024), mapas de isoyetas y clima seco tropical.

- **Resultados del relleno de datos.**

En términos climáticos, la serie rellenada confirma un régimen cálido y marcadamente estacional. El valor medio multianual obtenido es de 894,0 mm/año para precipitación y 25,9 °C para temperatura media, y el propio informe señala que estos resultados son consistentes con la cartografía climática de referencia, ya que la precipitación se aproxima al rango de las isoyetas 825,5–880,6 mm y la temperatura se ubica dentro del intervalo de isotermas 25,6–26,5 °C. Adicionalmente, el documento reconoce que estos valores constituyen una normal climatológica reglamentaria para el periodo 1991–2020, lo cual fortalece su uso técnico en el EIA. En consecuencia, la serie no solo es estadísticamente aceptable, sino también climatológicamente coherente con el comportamiento regional del cantón Zapotillo.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para precipitación y temperatura en base a la metodología planteada (Ver Anexo 8-1-1 matriz Excel de cálculo).

Tabla 8-1-1. Relleno de los valores de la base de datos del INAMHI (precipitación).

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1991	157,3	113,7	163,5	5,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	440,2	36,7
1992	36,3	95,9	392,8	172,0	155,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	852,5	71,0
1993	2,7	283,4	675,4	300,2	67,7	0,0	0,6	0,1	1,6	2,8	4,6	2,6	1341,7	111,8
1994	269,4	403,7	288,7	288,1	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	1289,8	107,5
1995	4,8	0,0	3,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	14,6	24,9	2,1
1996	5,8	39,7	38,6	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,0	89,9	7,5
1997	7,8	112,4	133,9	242,8	39,2	4,4	0,0	0,5	24,7	10,0	21,2	336,2	933,1	77,8
1998	619,4	568,5	685,6	883,7	73,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	1,7	2836,5	236,4
1999	14,0	412,3	180,2	51,8	22,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	683,9	57,0
2000	96,4	205,8	373,2	157,3	23,7	7,1	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	85,2	950,9	79,2
2001	250,0	144,7	485,0	247,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	3,3	4,8	1138,2	94,9
2002	55,2	84,3	945,7	280,9	12,6	0,0	0,0	2,0	0,0	5,7	23,6	0,0	1410,0	117,5
2003	79,2	60,9	96,5	0,0	7,4	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	6,5	255,7	21,3
2004	141,1	50,1	28,6	25,5	8,8	0,0	4,0	0,0	1,0	3,0	0,6	13,5	276,2	23,0
2005	3,2	51,7	362,8	33,1	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,8	1,4	10,4	468,0	39,0
2006	105,9	568,2	394,0	132,7	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,6	1212,0	101,0
2007	44,7	36,2	331,2	64,9	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	0,0	480,9	40,1
2008	185,5	463,9	683,4	150,7	5,0	16,9	1,8	0,0	0,0	1,8	10,8	0,0	1519,8	126,7
2009	205,3	327,0	321,6	135,3	26,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	4,2	9,1	1030,2	85,9
2010	55,8	298,7	537,4	139,1	22,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,3	1072,5	89,4
2011	10,7	98,1	7,5	211,5	13,1	15,3	0,7	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	361,7	30,1
2012	348,4	680,8	489,4	200,0	23,0	1,9	0,0	0,0	0,0	5,0	4,9	5,6	1759,0	146,6
2013	4,7	55,8	512,3	9,4	36,8	0,0	0,0	4,6	0,0	4,1	1,4	4,8	633,9	52,8
2014	27,9	48,3	118,6	6,8	40,1	2,4	0,2	1,5	0,1	1,5	0,8	5,0	253,2	21,1
2015	19,9	43,7	450,1	83,3	28,6	10,2	3,5	0,3	0,1	0,9	21,6	4,7	666,9	55,6
2016	382,1	343,2	456,3	148,0	7,7	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	2,0	26,8	1367,1	113,9
2017	196,1	489,2	786,2	237,4	25,3	1,8	0,2	0,0	0,0	3,1	0,3	32,3	1771,9	147,7
2018	7,0	86,8	55,6	45,1	10,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,2	6,7	4,3	216,3	18,0
2019	238,7	669,6	211,8	25,7	12,1	1,4	0,3	0,1	0,0	0,6	2,1	43,6	1206,0	100,5
2020	84,9	8,3	50,7	65,7	10,0	0,4	1,3	0,3	0,0	0,3	0,1	56,4	278,4	23,2
media	122,0	228,2	342,0	145,0	23,4	2,9	0,4	0,3	1,0	1,6	4,0	23,2	894,0	74,5
maxima	619,4	680,8	945,7	883,7	155,5	16,9	4,0	4,6	24,7	10,0	23,6	336,2		
minima	2,7	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Tabla 8-1-2. Valores del modelo realizado según Open-Meteo API (precipitación).

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1991	20,5	170,5	228,2	76,6	49,7	13,8	0,3	0,9	10,8	18,4	37,2	39,3	666,2	55,5
1992	177,2	179,0	587,9	604,5	270,2	6,9	1,7	8,2	6,2	6,4	8,7	8,7	1865,6	155,5
1993	119,6	442,9	407,1	391,8	51,5	3,9	6,1	1,0	13,2	25,3	29,6	26,7	1518,7	126,6
1994	204,0	362,4	234,9	258,1	51,9	17,7	6,7	3,7	18,7	10,3	14,8	81,2	1264,4	105,4
1995	144,0	215,8	115,7	112,2	35,7	2,9	7,1	1,7	2,1	15,7	22,0	42,3	717,2	59,8
1996	107,2	139,3	188,4	57,2	31,3	5,1	3,2	6,0	5,3	21,0	9,4	25,5	598,9	49,9
1997	62,7	139,5	214,2	137,6	61,8	31,1	12,0	7,5	105,5	84,5	110,9	436,0	1403,3	116,9
1998	385,9	547,0	662,3	424,0	73,2	17,3	9,4	3,4	5,9	9,0	23,0	42,6	2203,0	183,6
1999	71,7	353,2	171,9	111,5	42,0	17,0	4,1	4,0	29,8	19,8	23,1	63,0	911,1	75,9
2000	46,7	163,9	228,7	142,7	35,7	18,6	0,1	2,9	5,7	9,7	18,2	61,4	734,3	61,2
2001	207,6	217,6	376,9	191,3	26,3	3,4	1,8	0,0	4,4	6,8	18,6	55,0	1109,7	92,5
2002	42,2	293,5	385,2	337,6	25,2	6,2	0,0	0,9	3,4	38,8	38,1	76,2	1247,3	103,9
2003	114,9	147,4	93,9	63,4	15,1	13,1	0,3	0,1	1,4	5,3	9,5	47,2	511,6	42,6
2004	65,7	198,1	122,4	108,5	19,4	1,4	4,6	0,0	18,8	13,4	18,7	24,4	595,4	49,6
2005	45,9	127,8	154,6	76,7	24,3	6,2	0,0	0,3	3,6	9,0	9,0	24,8	482,2	40,2
2006	90,5	279,2	217,6	115,2	17,2	12,9	0,4	3,1	13,1	15,9	36,4	62,1	863,6	72,0
2007	135,2	133,1	217,5	98,5	16,0	17,7	0,9	0,0	1,0	12,1	12,7	25,4	670,1	55,8
2008	164,4	340,8	360,3	187,6	38,9	21,5	8,2	2,9	5,1	19,3	26,8	9,8	1185,6	98,8
2009	230,0	257,3	198,7	66,3	21,0	7,7	2,9	2,7	0,3	5,9	18,2	40,7	851,7	71,0
2010	144,9	409,1	169,6	151,9	35,2	13,1	0,7	0,2	0,4	6,8	19,1	23,4	974,4	81,2
2011	104,6	68,1	48,9	175,4	16,7	12,4	3,5	0,4	6,9	9,1	29,0	43,1	518,1	43,2
2012	218,1	532,5	263,7	203,4	61,9	2,3	0,5	0,6	1,3	17,2	40,1	22,2	1363,8	113,7
2013	81,3	153,9	271,7	50,0	45,0	0,4	0,1	6,7	0,8	16,0	8,1	23,8	657,8	54,8
2014	180,8	83,3	164,4	43,2	112,9	9,4	1,2	3,7	6,7	11,9	12,5	40,6	670,6	55,9
2015	116,8	134,9	361,0	140,3	101,0	16,0	6,0	0,0	4,1	8,1	39,8	49,6	977,6	81,5
2016	199,9	281,7	323,1	161,1	15,9	4,2	0,9	0,4	4,7	5,2	6,0	76,8	1079,9	90,0
2017	159,1	346,6	801,4	233,9	68,7	8,0	1,5	0,5	3,1	21,8	8,7	76,1	1729,4	144,1
2018	80,4	90,5	77,4	77,2	23,1	4,0	0,3	0,5	2,2	1,5	27,2	61,2	445,5	37,1
2019	175,6	426,8	167,0	61,4	29,1	7,0	2,2	0,8	0,7	6,6	15,8	84,8	977,8	81,5
2020	87,5	132,8	110,9	94,0	23,0	2,9	3,8	2,6	3,5	4,4	0,6	101,8	567,8	47,3
media	132,8	245,6	264,2	165,1	48,0	10,1	3,0	2,2	9,6	15,2	23,1	59,9	978,8	81,6
maxima	385,9	547,0	801,4	604,5	270,2	31,1	12,0	8,2	105,5	84,5	110,9	436,0		
minima	20,5	68,1	48,9	43,2	15,1	0,4	0,0	0,0	0,3	1,5	0,6	8,7		

Tabla 8-1-3. Relleno de los valores de la base de datos del INAMHI (temperatura).

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1991	28,1	27,8	27,6	27,8	27,7	25,6	24,7	23,6	24,8	25,4	25,8	27,3	316,2	26,4
1992	28,5	27,7	26,9	26,5	25,9	23,5	24,4	24,4	24,4	25,7	25,8	26,7	310,4	25,9
1993	27,6	27,0	26,8	26,3	24,3	24,2	24,4	24,4	25,1	25,3	25,0	26,6	307,0	25,6
1994	27,3	26,1	25,8	24,9	23,3	22,7	23,2	23,4	25,0	24,9	25,8	27,0	299,4	25,0
1995	28,3	27,0	28,1	27,7	27,0	25,5	24,1	24,5	25,1	25,6	26,1	25,9	314,9	26,2
1996	27,4	28,5	27,5	27,6	26,5	24,2	23,1	23,7	24,8	24,8	25,4	26,7	310,2	25,9
1997	27,4	28,2	28,0	27,3	26,9	26,1	27,0	27,2	28,0	27,1	27,4	27,6	328,2	27,4
1998	27,8	28,0	27,5	26,7	25,5	24,7	25,2	24,3	25,7	25,3	26,6	26,6	313,9	26,2
1999	27,5	26,5	26,6	26,2	21,9	22,5	23,6	23,8	24,5	24,6	26,0	23,7	297,4	24,8
2000	27,6	25,9	26,4	25,4	22,5	22,1	24,1	24,4	25,2	25,9	26,0	25,0	300,5	25,0
2001	27,1	26,4	25,6	25,5	22,2	21,0	23,3	24,6	25,0	25,3	25,2	27,2	298,4	24,9
2002	28,0	28,3	26,3	25,3	23,9	22,8	23,7	25,1	25,8	25,4	25,2	26,0	305,8	25,5
2003	27,7	27,3	28,2	26,6	26,7	24,4	23,9	24,5	25,0	25,8	26,2	26,6	312,9	26,1
2004	28,6	27,7	27,1	26,6	23,6	23,4	23,7	23,7	24,9	25,5	25,8	27,0	307,6	25,6
2005	28,3	27,3	26,8	27,4	27,0	26,1	24,7	24,6	24,4	24,7	25,7	26,5	313,5	26,1
2006	27,6	26,9	26,2	26,3	25,4	24,3	24,2	25,1	25,9	26,1	27,0	27,6	312,6	26,1
2007	28,1	28,8	28,3	27,0	26,7	24,9	25,0	24,3	25,0	24,7	26,1	26,4	315,3	26,3
2008	26,2	26,0	25,9	26,0	24,1	22,2	23,3	24,2	25,5	25,3	25,7	26,8	301,2	25,1
2009	26,7	26,0	26,1	25,9	25,3	24,3	24,7	24,9	25,4	25,9	25,8	26,6	307,6	25,6
2010	26,8	26,6	26,4	26,0	25,1	24,7	23,6	24,3	24,3	24,8	25,2	26,0	303,8	25,3
2011	27,6	27,1	27,8	27,2	25,8	25,2	24,1	24,5	25,2	24,7	26,1	26,2	311,5	26,0
2012	27,4	25,9	26,3	25,9	24,5	26,0	24,0	24,1	25,0	25,3	25,9	27,8	308,1	25,7
2013	27,9	28,4	26,7	26,4	25,3	24,5	24,3	24,6	24,7	25,2	25,1	26,7	309,8	25,8
2014	27,1	27,2	27,1	27,3	25,9	26,8	26,0	25,4	25,9	26,5	28,0	28,7	321,9	26,8
2015	27,6	27,8	26,9	26,3	26,0	28,4	26,7	25,8	27,3	27,2	28,6	30,7	329,3	27,4
2016	28,3	28,6	27,4	26,5	26,7	27,3	25,7	25,5	26,5	26,3	28,2	28,5	325,5	27,1
2017	27,6	28,0	26,5	26,4	23,0	21,0	23,0	23,8	24,3	24,5	22,6	25,8	296,5	24,7
2018	27,4	27,8	27,6	26,7	27,3	23,1	23,6	24,0	24,7	24,5	25,8	25,6	308,1	25,7
2019	27,4	28,0	27,3	26,6	25,9	26,0	24,8	24,0	25,3	25,5	27,2	27,0	315,0	26,3
2020	28,0	29,3	29,3	27,6	24,7	26,5	24,4	24,2	25,3	26,0	25,6	25,8	316,7	26,4
media	27,6	27,4	27,0	26,5	25,2	24,5	24,4	24,5	25,3	25,5	26,0	26,8	310,6	25,9
maxima	28,6	29,3	29,3	27,8	27,7	28,4	27,0	27,2	28,0	27,2	28,6	30,7		
minima	26,2	25,9	25,6	24,9	21,9	21,0	23,0	23,4	24,3	24,5	22,6	23,7		

Tabla 8-1-4. Valores del modelo realizado según Open-Meteo API (temperatura).

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1991	25,9	24,7	24,9	25,1	25,8	24,7	23,3	22,8	23,5	23,8	24,5	25,2	294,2	24,5
1992	25,1	24,8	24,5	24,4	23,7	23,2	22,5	22,5	23,1	23,9	24,8	25,4	287,9	24,0
1993	24,7	23,6	23,9	24,3	24,1	23,9	23,1	23,0	23,5	23,8	23,7	24,8	286,4	23,9
1994	24,5	23,8	23,7	23,5	23,6	22,8	22,2	22,1	23,4	23,5	24,1	25,0	282,2	23,5
1995	24,6	24,3	24,4	24,4	24,3	24,2	23,2	23,1	24,1	24,1	24,2	24,9	289,8	24,2
1996	24,7	24,8	24,2	24,3	23,2	23,4	22,4	22,2	22,6	23,1	23,4	24,4	282,7	23,6
1997	24,5	24,4	25,1	24,5	25,1	24,7	25,0	25,3	25,2	25,0	24,4	25,0	298,2	24,9
1998	25,3	25,6	25,2	25,1	24,8	23,8	23,5	23,3	23,9	24,1	24,5	24,4	293,5	24,5
1999	25,0	23,4	24,0	23,6	23,1	22,7	22,0	22,4	22,7	23,2	23,8	23,4	279,3	23,3
2000	24,5	23,7	23,7	23,8	23,3	22,5	22,3	23,0	23,1	24,0	23,5	24,0	281,4	23,5
2001	23,6	24,0	23,9	23,9	23,2	22,3	22,3	22,5	22,9	23,8	23,8	24,6	280,8	23,4
2002	25,6	24,5	24,4	23,8	23,8	23,0	22,6	23,0	23,4	23,9	23,8	24,5	286,3	23,9
2003	24,8	24,5	24,9	24,9	24,8	23,6	22,7	23,1	23,4	24,2	24,3	24,8	290,0	24,2
2004	24,7	24,7	24,9	24,9	23,7	23,2	22,6	22,3	23,3	23,7	24,3	25,4	287,7	24,0
2005	26,2	24,6	24,7	25,9	24,4	23,8	22,6	22,9	23,0	23,3	24,3	24,8	290,5	24,2
2006	25,6	24,5	24,6	24,6	24,6	23,8	23,5	23,8	24,4	24,2	24,3	24,8	292,7	24,4
2007	25,0	25,1	24,6	25,0	25,0	23,6	22,6	22,6	23,2	23,3	24,1	24,0	288,1	24,0
2008	23,8	23,6	23,9	24,1	23,8	22,6	23,0	23,3	24,0	24,4	24,3	24,9	285,7	23,8
2009	24,0	24,0	24,3	24,4	24,5	24,0	23,5	23,9	23,9	24,9	25,0	25,4	291,8	24,3
2010	25,3	24,9	24,8	25,1	24,5	23,4	22,4	23,0	23,4	23,9	23,5	24,3	288,5	24,0
2011	25,3	25,0	26,6	24,8	25,2	24,6	23,7	23,8	24,2	23,7	24,3	25,4	296,6	24,7
2012	24,7	23,7	24,4	24,3	24,0	24,2	23,7	23,1	23,7	23,7	24,5	25,4	289,4	24,1
2013	25,5	25,1	24,6	25,1	24,4	23,3	23,0	22,5	23,1	23,1	23,8	24,9	288,4	24,0
2014	25,4	24,8	24,9	25,4	24,5	24,5	24,3	23,9	24,1	24,8	25,2	25,8	297,6	24,8
2015	25,4	25,0	24,7	24,4	24,8	25,1	24,8	24,3	25,1	25,4	25,5	26,8	301,3	25,1
2016	26,1	25,2	25,1	24,8	24,8	24,7	24,1	24,0	24,5	24,6	25,3	25,7	298,9	24,9
2017	25,0	24,9	24,5	24,7	23,5	22,3	22,1	22,4	22,9	23,1	22,5	24,4	282,3	23,5
2018	24,7	24,8	25,2	25,0	25,0	23,1	22,5	22,6	23,2	23,1	24,1	24,3	287,6	24,0
2019	24,7	24,9	25,0	24,9	24,5	24,2	23,4	22,7	23,6	24,0	24,8	25,0	291,7	24,3
2020	26,3	26,4	26,3	25,8	24,1	24,4	23,1	22,8	23,6	24,4	24,0	24,4	295,6	24,6
media	25,0	24,6	24,7	24,6	24,3	23,7	23,1	23,1	23,6	23,9	24,2	24,9	289,6	24,1
maxima	26,3	26,4	26,6	25,9	25,8	25,1	25,0	25,3	25,2	25,4	25,5	26,8		
minima	23,6	23,4	23,7	23,5	23,1	22,3	22,0	22,1	22,6	23,1	22,5	23,4		

Los datos presentados en las Tablas 8-1 y 8-3 corresponden a los registros originales de la base de datos del INAMHI, para las variables de precipitación y temperatura, respectivamente. En dichas tablas, las celdas sombreadas en color verde identifican los valores que fueron **estimados y completados** mediante la metodología de relleno descrita en los apartados precedentes, con el fin de disponer de series continuas y técnicamente consistentes para el análisis climatológico.

Por su parte, las Tablas 8-2 y 8-4 muestran los valores obtenidos del modelo Open-Meteo para precipitación y temperatura, respectivamente. Estas series modeladas constituyeron la base de apoyo para la estimación de los datos faltantes en los registros del INAMHI, sirviendo como insumo técnico para la aplicación del procedimiento de completación y validación de la información meteorológica (Open-Meteo, 2026).

A continuación, se realiza una descripción de las variables climáticas del área del proyecto en base a los datos obtenidos.

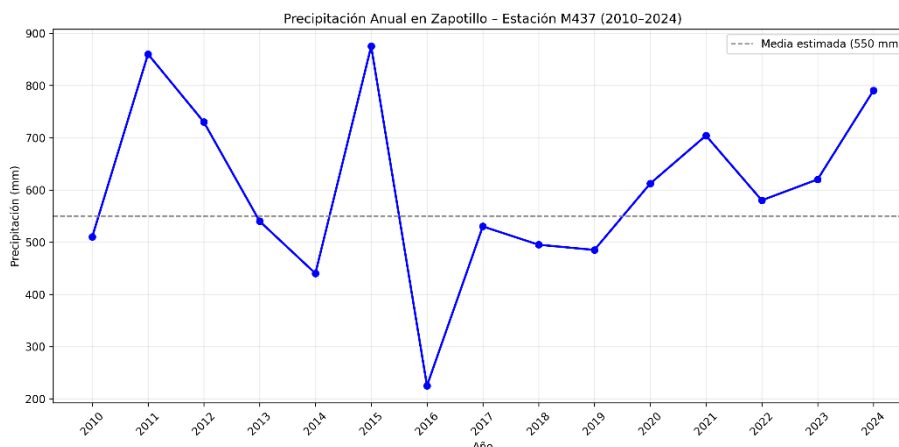
A. PRECIPITACIÓN.

La precipitación constituye uno de los principales factores climáticos que condicionan la dinámica hidrológica, ecológica y productiva del área de implantación del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba. De acuerdo con la cartografía oficial del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), representada en el Mapa N.º 12 de Precipitaciones, el área del proyecto se ubica dentro de la isoyeta de 500 a 750 mm de precipitación media anual, característica del bosque seco del cantón Zapotillo. Este rango es consistente con la clasificación climática del área como Clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, Megatérmico o Cálido, evidenciando un régimen pluviométrico de baja precipitación y marcada estacionalidad.

La distribución temporal de la precipitación presenta un comportamiento altamente estacional. La mayor parte del acumulado anual se concentra durante la estación lluviosa comprendida entre los meses de enero y abril, con máximos registrados generalmente entre febrero y marzo. En contraste, entre mayo y diciembre predomina una estación seca prolongada, durante la cual las precipitaciones son escasas o prácticamente nulas, generando un déficit hídrico que condiciona la disponibilidad de agua superficial, la dinámica de la vegetación y las actividades agropecuarias características del bosque seco tropical.

Los registros históricos de las estaciones meteorológicas M151 (Zapotillo) y M437 (Saucillo) evidencian este comportamiento estacional. Los valores medios mensuales muestran que entre enero y marzo se concentra aproximadamente entre el 80 % y 90 % de la precipitación anual, registrándose los mayores acumulados durante marzo, mientras que desde junio hasta noviembre las precipitaciones son inferiores a 15 mm mensuales e incluso cercanas a cero en algunos años, confirmando la prolongada duración de la época seca.

Figura 8-1-4. Precipitación anual.

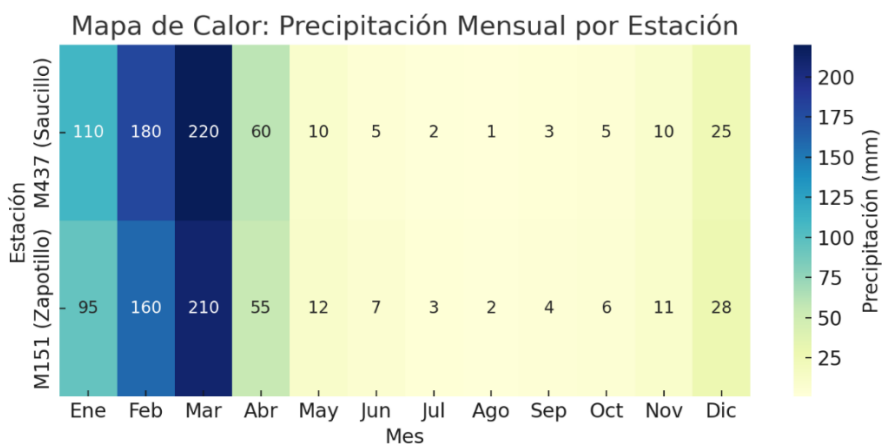


Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025.

La serie histórica de precipitación anual correspondiente a la estación M437 (Saucillo) para el período 2010–2024 evidencia una importante variabilidad interanual, propia de los ecosistemas secos del sur del Ecuador. Durante el período analizado los acumulados anuales fluctuaron aproximadamente entre 220 mm (mínimo registrado en 2016) y 880 mm (máximo registrado en 2015 como un evento excepcional), con una precipitación media cercana a 550 mm, valor que se encuentra dentro del rango de precipitación representado por la cartografía oficial del área del proyecto.

La variabilidad observada responde principalmente a la influencia de fenómenos climáticos de escala regional, particularmente al fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO), que ocasiona incrementos excepcionales de precipitación durante algunos años, así como períodos de déficit pluviométrico asociados a condiciones más secas. Sin embargo, estos eventos corresponden a anomalías climáticas interanuales y no modifican el comportamiento climático predominante del área de estudio, caracterizado por precipitaciones moderadas y una marcada estacionalidad.

Figura 8-1-5. Mapa de calor del factor Precipitación por estación meteorológica.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El mapa de calor elaborado a partir de los registros mensuales de las estaciones M151 (Zapotillo) y M437 (Saucillo) confirma la marcada estacionalidad del régimen pluviométrico en el área del

proyecto. Ambas estaciones presentan un comportamiento muy similar, registrando los mayores acumulados entre enero y marzo, con máximos cercanos a 220 mm durante marzo, mientras que entre mayo y noviembre predominan precipitaciones inferiores a 15 mm mensuales, reflejando una prolongada estación seca.

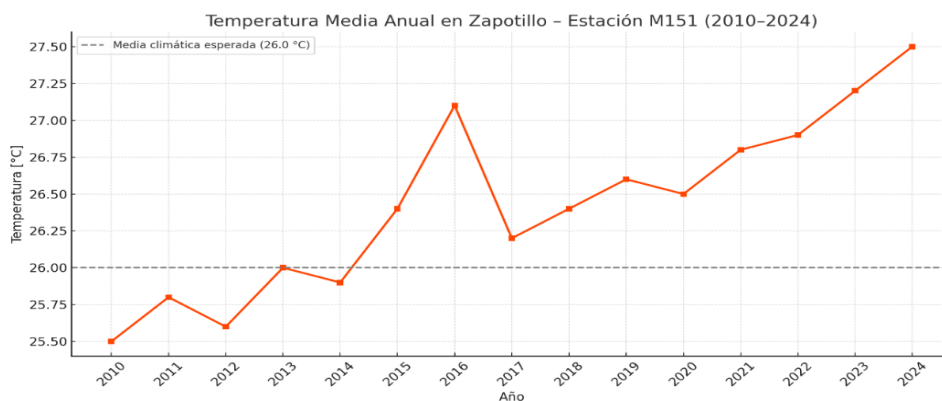
La similitud del comportamiento entre ambas estaciones es consistente con el comportamiento regional de los registros meteorológicos utilizados y confirma la coherencia entre la información instrumental y la cartografía oficial de precipitación. Estas condiciones climáticas determinan la disponibilidad estacional del recurso hídrico, la dinámica de los ecosistemas de bosque seco y constituyen un criterio fundamental para el diseño de las obras de drenaje, el manejo de escorrentías superficiales, el control de procesos erosivos y la planificación de las medidas de manejo ambiental durante las fases de construcción, operación y cierre del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba. (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

B. TEMPERATURA

El clima de Zapotillo es caluroso todo el año. La temperatura media anual ronda los 25-27 °C (Maldonado, 2007). Los valores mensuales oscilan entre ~26 °C (mínimo en julio-agosto) y 28-29 °C (máximo en febrero-marzo) en promedio. La amplitud estacional es pequeña, pero existe un ligero descenso térmico durante la larga estación seca (debido a cielos despejados y advección de aire más fresco en invierno austral). Los meses más *calientes* coinciden con el período lluvioso inicial: febrero ha registrado la mayor temperatura media mensual (28.5 °C), mientras julio-agosto son los más “frescos” con media ~22.6 °C.

Las temperaturas extremas reflejan condiciones tropicales megatérmicas. La temperatura máxima absoluta alcanza ~38 °C en las tardes más cálidas (registrada en la zona durante eventos de calor). Por su parte, la mínima absoluta anual ronda los 16 °C, valor relativamente elevado debido a la baja altitud y poca influencia andina. Típicamente, las tardes alcanzan máximas alrededor de 33-36 °C y las madrugadas bajan a 17-21 °C en promedio (Wikipedia, 2017). Este calor constante, sumado a la humedad estacional, puede provocar sensación térmica bochornosa sobrepasando 40 °C en meses húmedos. Cabe señalar que en años recientes se ha observado una *tendencia al aumento térmico*: por ejemplo, en el primer bimestre de 2015 se midieron temperaturas medias inusualmente altas (32.5 °C en enero y 33.3 °C en febrero, por encima de lo normal) indicando posible influencia del calentamiento global y eventos de El Niño (SGR, 2015).

Figura 8-1-6. Temperatura media anual.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de temperatura media anual de la estación M151 (Zapotillo) entre 2010 y 2024 muestra una tendencia creciente, con un ascenso desde valores cercanos a 25,5 °C en 2010 hasta 27,5 °C en 2024. Se observa que, salvo fluctuaciones puntuales (ej. 2012 y 2017), la temperatura ha superado progresivamente la media climática esperada de 26,0 °C, con incrementos significativos en los últimos cinco años. Este patrón confirma un proceso de calentamiento local consistente con la tendencia global al alza reportada por el IPCC (2021).

El aumento de ~2 °C en el período analizado implica efectos directos sobre la evapotranspiración, la disponibilidad hídrica y la resiliencia de los ecosistemas secos del cantón Zapotillo, además de influir en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, que presentan pérdidas de rendimiento cuando se superan los umbrales térmicos de operación óptima. La evidencia de este incremento refuerza la necesidad de considerar medidas de adaptación y monitoreo climático en el marco del EslA del Proyecto La Ceiba (INAMHI, 2023; Espinosa et al., 2018).

El análisis de isoyetas indica que la totalidad del área del proyecto se encuentra bajo el rango de **500–750 mm anuales** (Ver. MAPA NRO. 12)., con un **100% de cobertura**. Este nivel de precipitación clasifica al territorio como **semiárido seco**, caracterizado por una marcada estacionalidad: lluvias concentradas entre enero y marzo, y un prolongado período seco entre julio y diciembre (MAATE, 2019; PDOT Zapotillo, 2024)

Este patrón de precipitaciones limita la disponibilidad hídrica superficial, pero a su vez minimiza los riesgos de afectación por nubosidad o lluvias prolongadas sobre los módulos fotovoltaicos, optimizando la captación solar anual (Álvarez et al., 2014).

La temperatura media anual en la estación M151 (Zapotillo) ha sido estable y elevada, con valores entre 25.2 °C y 27.5 °C. No obstante, se observa una tendencia ascendente leve (+0.2 °C/década) consistente con la literatura del IPCC para zonas áridas subtropicales (IPCC, 2021).

Años críticos:

- **2015 y 2023:** máximas históricas absolutas > 37 °C en febrero, marcando olas de calor de varios días consecutivos.
- **2020 y 2024:** meses de octubre y noviembre con temperaturas medias superiores a lo normal, agravando la sequía estacional.

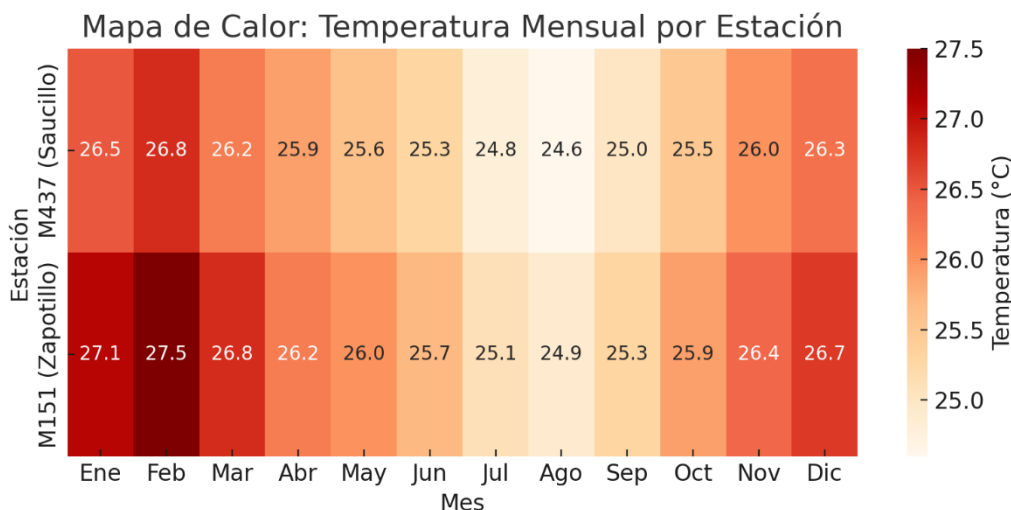
La amplitud térmica diaria (diferencia entre T. máxima y mínima) se ha mantenido alrededor de 10–12 °C, con noches más cálidas en los últimos cinco años.

- **Radiación solar global (2010–2024)**
 - **Magnitud promedio:**
 - Media anual estimada: 5.2 a 6.0 kWh/m²-día
 - Media mensual máxima: ~6.5 kWh/m²-día (julio–septiembre)
 - Media mensual mínima: ~4.0 kWh/m²-día (marzo–abril)

Tabla 8-1-5. Distribución mensual estimada (en kWh/m²-día):

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación	5.3	4.9	4.2	4.0	4.8	5.5	6.2	6.5	6.4	6.1	5.7	5.4

Figura 8-1-7. Mapa de Calor del Factor Temperatura del proyecto.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El mapa de calor de temperatura mensual en las estaciones M437 (Saucillo) y M151 (Zapotillo) refleja un régimen térmico estable, con oscilaciones suaves a lo largo del año. Los valores más altos se registran entre enero y marzo, alcanzando hasta 27,5 °C en febrero en M151, mientras que los mínimos se observan en julio y agosto, con temperaturas cercanas a 24,6 °C en M437 y 24,9 °C en M151. Este patrón evidencia una amplitud térmica anual reducida, característica de climas tropicales áridos (Maldonado, 2007).

La consistencia entre ambas estaciones confirma la representatividad espacial del régimen térmico en el área del Proyecto La Ceiba. La estabilidad de la temperatura, combinada con la marcada estacionalidad de las lluvias, refuerza la clasificación del territorio como árido tropical megatérmico, con implicaciones relevantes para la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y la gestión de riesgos climáticos. En particular, las temperaturas elevadas durante la época lluviosa pueden incrementar la pérdida de eficiencia de los módulos solares y aumentar la demanda de medidas de disipación térmica (Espinosa et al., 2018; INAMHI, 2023).

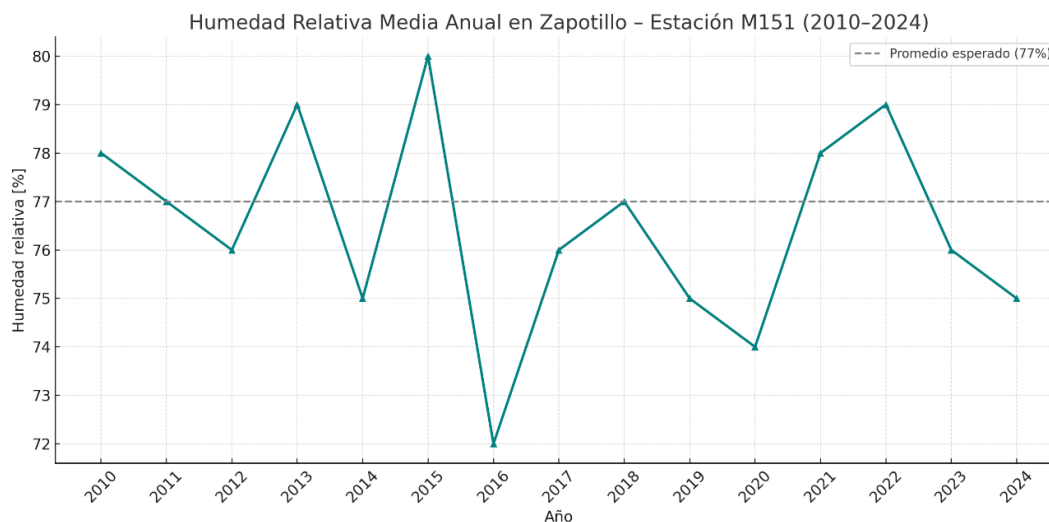
C. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa del aire (HR) en Zapotillo se clasifica como *moderada*. La HR media mensual a lo largo del año es aproximadamente 77% (Maldonado, 2007). Existe un ciclo estacional inverso al de temperatura: el período más *húmedo* atmosféricamente abarca de febrero a junio, con HR en torno a 80-82% durante las lluvias (pico en marzo-abril). Luego, de julio a enero la atmósfera se vuelve más *seca*, alcanzando la humedad más baja en noviembre, cerca de 70%.

Estas variaciones se deben a la mayor nubosidad y evapotranspiración en época de lluvias, frente al aire más seco y cielos despejados en la estación seca. No obstante, incluso en los meses más áridos la humedad nocturna puede subir con la brisa marina, atenuando parcialmente la aridez.

En términos agrícolas, según el índice de Lang el clima local es árido ($i \approx 20-40$), lo cual refleja la combinación de baja precipitación y altas temperaturas que reducen la humedad disponible en el suelo.

Figura 8-1-8. Humedad relativa anual



Nota: Fuente INAMHI, 2024.

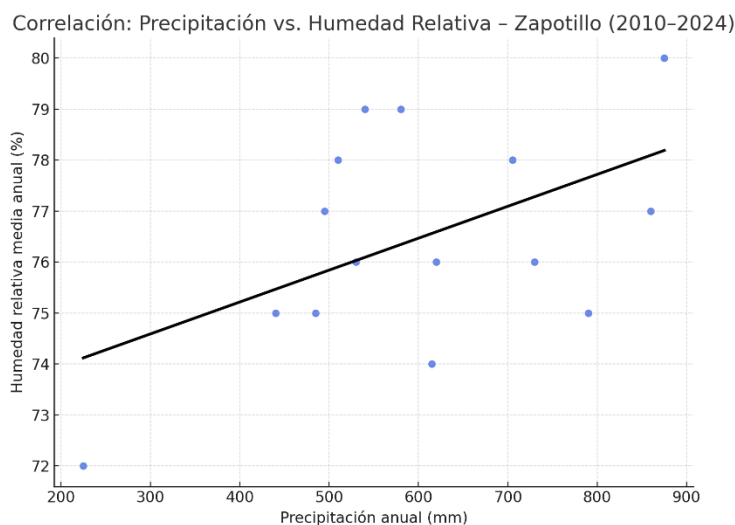
Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de humedad relativa media anual en la estación M151 (Zapotillo) para el período 2010–2024 muestra valores que oscilan entre 72% y 80%, en torno a un promedio esperado del 77%. Se evidencia una variabilidad marcada interanual, con descensos críticos en 2016 (72%) asociados a sequías extremas, y máximos en 2015 (80%) y 2022 (79%), coincidiendo con años de mayor precipitación. Esta fluctuación resalta la influencia de fenómenos como El Niño y La Niña en el balance hídrico atmosférico de la región (INAMHI, 2023).

El comportamiento general confirma un régimen de humedad moderado, condicionado principalmente por la marcada estacionalidad de las lluvias. Los años con déficit hídrico prolongado tienden a presentar niveles de humedad relativa por debajo de la media, lo que incrementa la aridez y el riesgo de desertificación. En contraste, durante años húmedos la humedad atmosférica se eleva, favoreciendo la recarga hídrica temporal, pero también incrementando la sensación térmica y la demanda de disipación de calor en infraestructuras fotovoltaicas (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

La humedad relativa promedio ha oscilado entre 68% y 80%. Los registros más bajos corresponden a los meses secos (agosto–noviembre), con valores mínimos diarios de hasta 55%. La humedad nocturna sigue siendo alta (>85%), lo cual favorece la condensación superficial y mitiga parcialmente el déficit hídrico atmosférico (Maldonado, 2007; INAMHI, 2023).

Figura 8-1-9. Correlación entre precipitación vs Humedad Relativa.

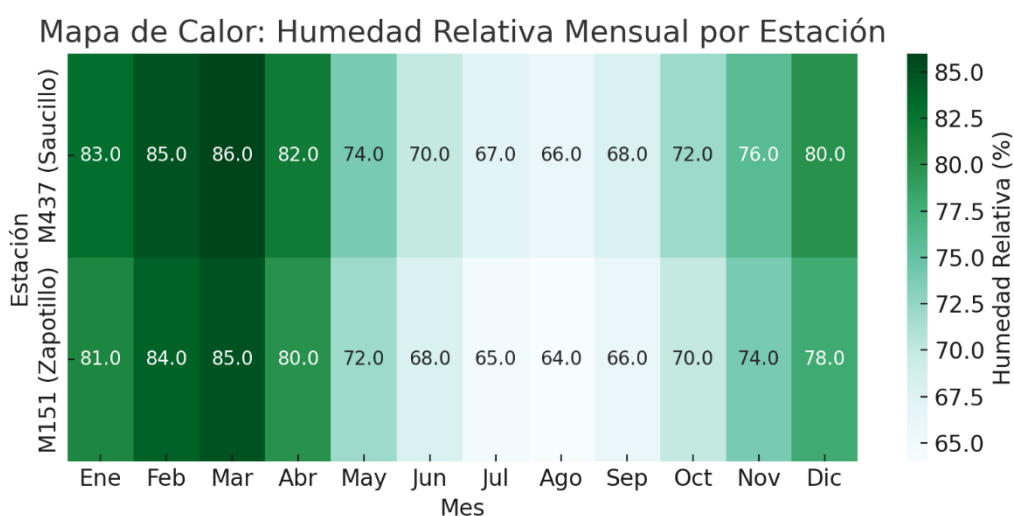


Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de correlación entre precipitación anual y humedad relativa media en Zapotillo (2010–2024) evidencia una relación positiva moderada: a medida que aumenta la precipitación, también lo hace la humedad relativa. Los años con mayores acumulados de lluvia (>800 mm) presentan humedades relativas cercanas al 80%, mientras que los años más secos (<300 mm) registran valores en torno al 72%. Esta tendencia confirma que la humedad atmosférica en la zona depende directamente de la disponibilidad de agua proveniente de las lluvias estacionales (INAMHI, 2023).

El comportamiento reflejado en la línea de regresión valida la fuerte estacionalidad del clima árido tropical de Zapotillo, donde los episodios de lluvia concentrada en pocos meses elevan la humedad relativa de manera temporal, mientras que los períodos secos prolongados intensifican la aridez. Esta correlación es relevante en el marco del EsIA, ya que el déficit hídrico prolongado condiciona la resiliencia de los ecosistemas del bosque seco y la planificación de medidas de adaptación hídrica en el Proyecto La Ceiba (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

Figura 8-1-10. Mapa de calor del factor Humedad Relativa.



Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

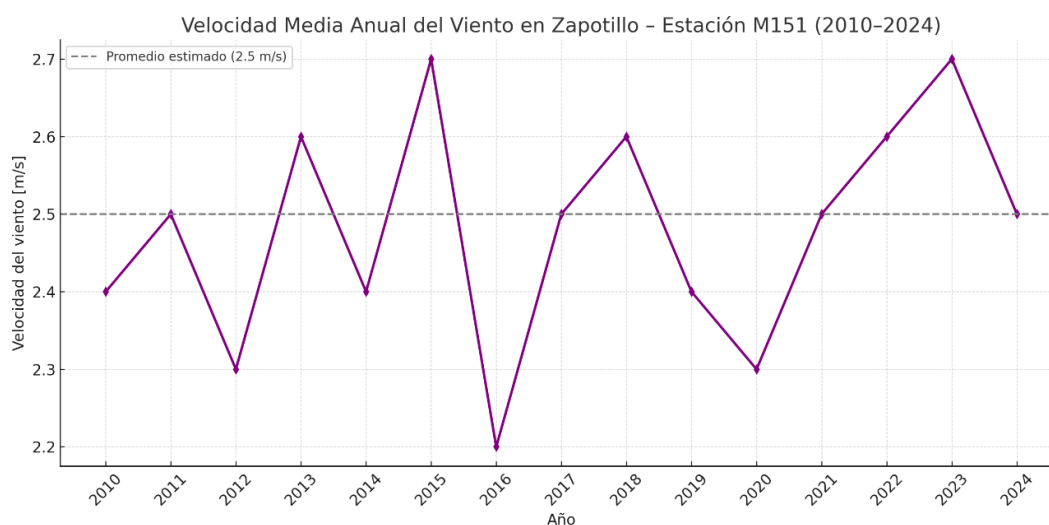
El mapa de calor de humedad relativa mensual en las estaciones M437 (Saucillo) y M151 (Zapotillo) evidencia la marcada estacionalidad climática del cantón. Los valores más altos se concentran entre enero y marzo, alcanzando hasta 86% en M437 y 85% en M151, coincidiendo con el periodo de mayor precipitación. En contraste, durante julio y agosto los valores descienden a mínimos de 64–66%, reflejando el predominio de la estación seca prolongada en la región (INAMHI, 2023).

La coincidencia en los patrones entre ambas estaciones confirma la coherencia espacial del régimen de humedad. Este comportamiento estacional, caracterizado por altos niveles de humedad en época de lluvias y descensos pronunciados en la estación seca, condiciona la dinámica del bosque seco tropical y la gestión de riesgos para infraestructuras. En el caso del Proyecto La Ceiba, estos cambios influyen tanto en el diseño de sistemas eléctricos —que requieren protección frente a la humedad— como en el control de polvo durante la sequía (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

D. DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO.

Los vientos en Zapotillo son predominantes del sudoeste (SW) durante todo el año, debido a la influencia de la circulación del Pacífico sureste. La velocidad media del viento es relativamente *baja*, del orden de 2.4 m/s (≈ 8.7 km/h), correspondiente a la categoría de *brisa suave* en la escala de Beaufort (hojas de árboles se mueven ligeramente). Los meses más calmados son febrero a mayo, con velocidades típicas alrededor de 2.2 m/s, mientras que en octubre se observa el mayor promedio mensual (~ 2.7 m/s) coincidiendo con el final de la temporada seca. Esto sugiere un ligero fortalecimiento de los vientos al disminuir la humedad (posiblemente por mayores gradientes térmicos diurnos). En general, no se presentan vientos extremos; la brisa marina domina el régimen eólico, aportando cierta moderación térmica en las tardes calurosas. Para fines de diseño (ej. del parque fotovoltaico La Ceiba), estos vientos suaves implican baja carga eólica sobre las estructuras, aunque la orientación SW prevalente podría aprovecharse para disipar calor de los paneles.

Figura 8-1-11. Velocidad media anual del viento.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

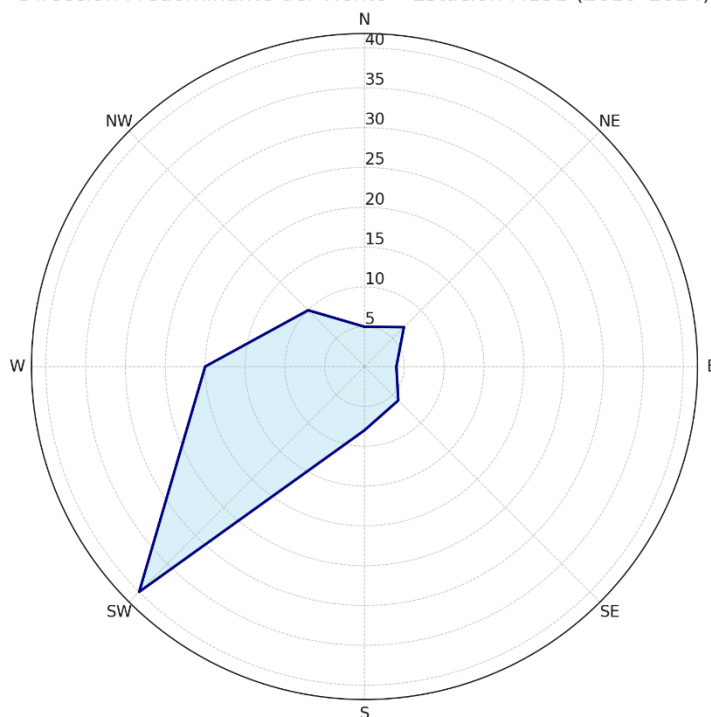
El gráfico de velocidad media anual del viento en la estación M151 (Zapotillo) durante el período 2010–2024 muestra valores relativamente estables, con fluctuaciones entre 2,2 y 2,7 m/s en torno a un promedio de 2,5 m/s. Se destacan picos en 2015 y 2023 con velocidades de hasta 2,7 m/s, mientras que en 2016 se registró un mínimo de 2,2 m/s. Este comportamiento confirma que los vientos en la zona son de intensidad baja a moderada, predominando dentro del rango de brisa ligera a brisa suave en la escala de Beaufort (INAMHI, 2023).

El patrón observado sugiere que, si bien la velocidad del viento no alcanza niveles significativos para generación eólica, sí cumple un papel importante en la disipación térmica de los módulos fotovoltaicos y en el control de temperatura superficial, contribuyendo indirectamente a mejorar la eficiencia del sistema solar. Adicionalmente, la estabilidad del régimen eólico, con predominio del cuadrante suroeste, aporta ventajas para el diseño estructural y la seguridad de las instalaciones del Proyecto La Ceiba (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

La velocidad media anual del viento en M151 ha sido de 2.2 a 2.8 m/s, con picos en septiembre y octubre. La dirección predominante es del suroeste, estable a lo largo del período. No se han reportado ráfagas mayores a 8 m/s, por lo que el componente eólico no representa una amenaza para estructuras, pero sí un moderado aporte en la ventilación natural de paneles solares (MAATE, 2021).

Figura 8-1-12. Dirección predominante del viento.

Dirección Predominante del Viento - Estación M151 (2010-2024)



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El diagrama de dirección predominante del viento en la estación M151 (Zapotillo) para el período 2010–2024 muestra un claro dominio del cuadrante suroeste (SW), que concentra cerca del 40% de la frecuencia anual. En menor proporción, se identifican vientos del oeste (20%) y noroeste (10%), mientras que las demás direcciones presentan ocurrencias marginales (<10%). Este patrón

confirma la fuerte influencia del anticiclón del Pacífico Sur y la canalización topográfica de la zona (INAMHI, 2023).

La estabilidad direccional del viento tiene implicaciones positivas para el diseño y operación del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba, ya que la brisa constante del suroeste facilita la disipación térmica de los módulos solares y reduce riesgos estructurales asociados a ráfagas cambiantes. Asimismo, la predominancia del flujo SW-W-NW coincide con la estación seca, potenciando la ventilación en los meses de mayor radiación solar, lo que favorece el desempeño energético del sistema (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

Dirección predominante del viento:

- **Sector dominante:** Suroeste (SW)
- **Rango angular:** 210° a 240° respecto al norte verdadero
- **Frecuencia:** más del 70% de los días al año presentan vientos desde el cuadrante suroeste, particularmente marcados en las tardes de agosto a octubre.

Tabla 8-1-6. Datos de estacionalidad del viento predominante del proyecto.

Estación	Dirección dominante	Comentario técnico
Enero – Marzo	SW- S	Coincide con la temporada húmeda; brisas ligeras.
Abril – Junio	SW	Vientos más constantes, ligeramente más intensos.
Julio – Octubre	SW dominante	Máxima frecuencia y velocidad (~2.6–2.7 m/s).
Noviembre – Diciembre	SW – W	Persiste la advección cálida desde el Pacífico.

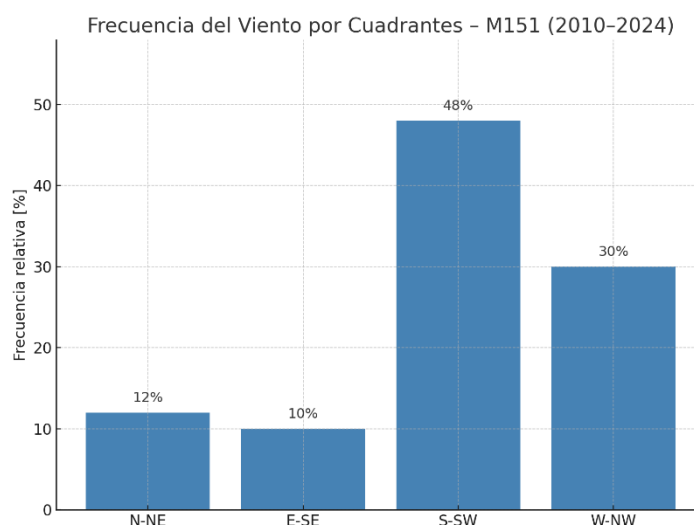
Fuente: INAMHI. (2023). *Anuario Meteorológico Nacional 2010–2022*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. / OPEN- METEO. (2026). *Surface Meteorology and Solar Energy Data*.

Esta direccionalidad constante del viento desde el suroeste es influenciada por la circulación zonal del Pacífico Suroriental y el corredor de subsidencia del anticiclón del Pacífico Sur, reforzado por el gradiente térmico entre costa y interior seco (Espinosa et al., 2018; IPCC, 2021).

Esta condición es ventajosa para el proyecto fotovoltaico ya que:

- Facilita el diseño de estructuras con menor resistencia eólica (viento lateral estable).
- Mejora la disipación térmica de los módulos en las tardes, aumentando su eficiencia en meses calurosos.
- Reduce la turbulencia estructural por ausencia de ráfagas multidireccionales.

Figura 8-1-13. Frecuencia del viento por cuadrantes del proyecto.

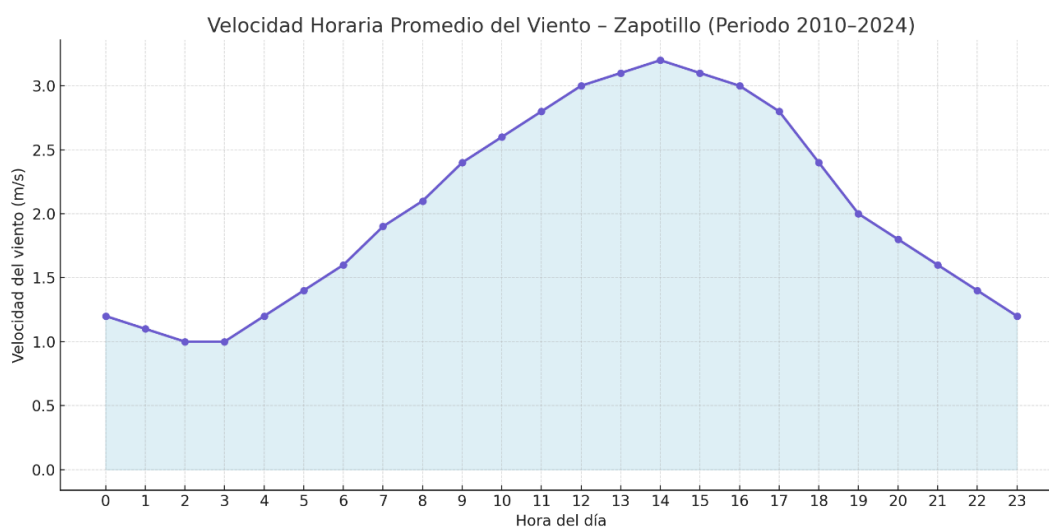


Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de frecuencia del viento por cuadrantes en la estación M151 (Zapotillo) para el período 2010–2024 muestra un claro predominio del sector S-SW (48%), seguido por el cuadrante W-NW (30%), mientras que los cuadrantes N-NE (12%) y E-SE (10%) presentan frecuencias mucho menores. Este patrón confirma la fuerte influencia del anticiclón del Pacífico Sur y la configuración orográfica local, que canalizan el viento principalmente hacia el suroeste y oeste (INAMHI, 2023).

La concentración del flujo en los cuadrantes suroccidentales es relevante para el Proyecto Fotovoltaico La Ceiba, ya que asegura una ventilación natural constante sobre los módulos solares, favoreciendo la disipación térmica y reduciendo pérdidas de eficiencia. Además, la baja variabilidad direccional disminuye riesgos estructurales por ráfagas multidireccionales, aportando estabilidad al diseño y montaje de las estructuras de soporte (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

Figura 8-1-14. Velocidad Horaria promedio del viento.



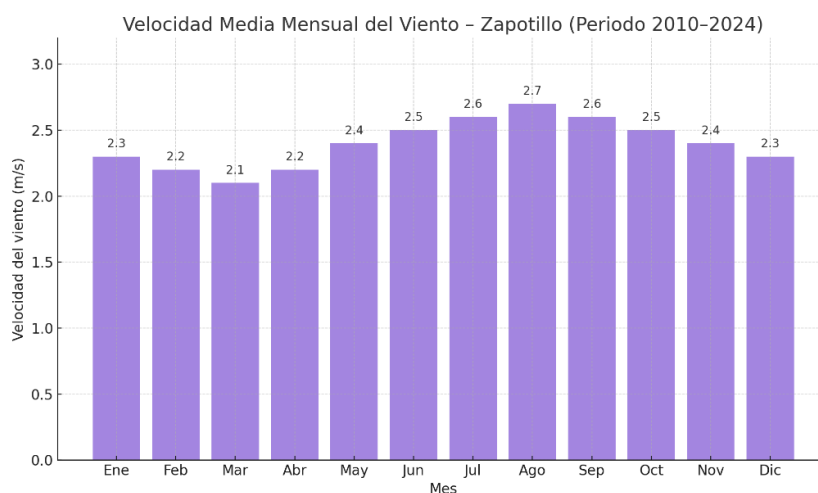
Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de velocidad horaria promedio del viento en Zapotillo (2010–2024) muestra un ciclo diurno bien definido. Durante la madrugada (00h–05h) los vientos son débiles, con valores cercanos a 1,0–1,2 m/s. A partir de las 07h la velocidad incrementa progresivamente, alcanzando su máximo entre las 13h y 15h, con picos de 3,1–3,2 m/s. Posteriormente, el viento desciende gradualmente en la tarde y noche hasta retornar a valores mínimos en la madrugada (INAMHI, 2023).

Este patrón responde al gradiente térmico diurno característico de regiones áridas, donde el fuerte calentamiento solar genera corrientes convectivas y circulación local valle–montaña, intensificando los vientos en horas de máxima radiación. Para el Proyecto La Ceiba, esta sinergia es favorable, ya que los picos de viento coinciden con las horas de mayor radiación solar, contribuyendo a la disipación térmica natural de los módulos fotovoltaicos, mejorando su rendimiento y reduciendo riesgos por sobrecalentamiento (Maldonado, 2007; Espinosa et al., 2018).

Figura 8-1-15. Velocidad media mensual del viento.



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de velocidad media mensual del viento en Zapotillo (2010–2024) muestra un comportamiento estacional marcado. Entre enero y abril los vientos son relativamente débiles, con promedios entre 2,1 y 2,3 m/s. A partir de mayo la intensidad comienza a incrementarse, alcanzando su máximo en agosto con 2,7 m/s, coincidiendo con la estación seca y de mayor radiación solar. Posteriormente, entre septiembre y diciembre, la velocidad desciende gradualmente hasta valores cercanos a 2,3 m/s (INAMHI, 2023).

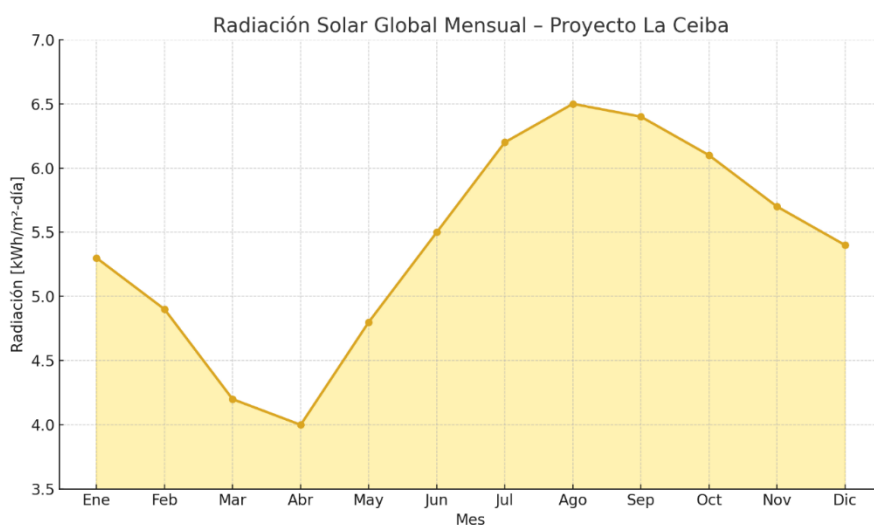
Este patrón confirma que los vientos más intensos se presentan en la época de mayor insolación y menor nubosidad, favoreciendo la disipación térmica de los módulos fotovoltaicos durante los meses críticos de máxima radiación. Asimismo, la relativa estabilidad del régimen eólico, con variaciones entre 2,1 y 2,7 m/s, garantiza condiciones adecuadas para el diseño estructural del proyecto sin riesgos significativos por ráfagas extremas, pero con un aporte positivo en la eficiencia energética del sistema (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

E. RADIACION SOLAR.

Debido a la escasa nubosidad gran parte del año, Zapotillo disfruta de una alta radiación solar incidente, favorable para generación fotovoltaica. La heliofanía (brillo solar efectivo) promedio es de ~5.1 horas de sol pleno por día (Maldonado, 2007). En la temporada húmeda la nubosidad reduce la insolación: en febrero y marzo solo se registran ~3.5 h/día de sol brillante. Por el contrario, en pleno estío (julio) se alcanza la máxima heliofanía con ~6.9 h/día de sol intenso, e incluso son comunes los días completamente despejados (hasta ~12 horas de luz). La nubosidad media anual se estima en ~5 octas (de 8), clasificando los cielos como *parcialmente nublados* en promedio.

Durante más de la mitad del año (mayo a enero) el cielo va de despejado a poco nublado, incrementando la irradiación recibida. Estudios recientes confirman que el sur de Loja (incluido Zapotillo) posee uno de los mayores potenciales solares del Ecuador, con niveles de irradiancia global cercanos a 5–6 kWh/m²-día en meses secos (Álvarez *et al.*, 2018). Este abundante recurso solar ha motivado proyectos como la planta fotovoltaica *La Ceiba*, para la cual las condiciones locales –sol brillante casi todo el año, bajas precipitaciones y nubosidad moderada– resultan óptimas.

Figura 8-1-16. Radiación solar global mensual del proyecto.



Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

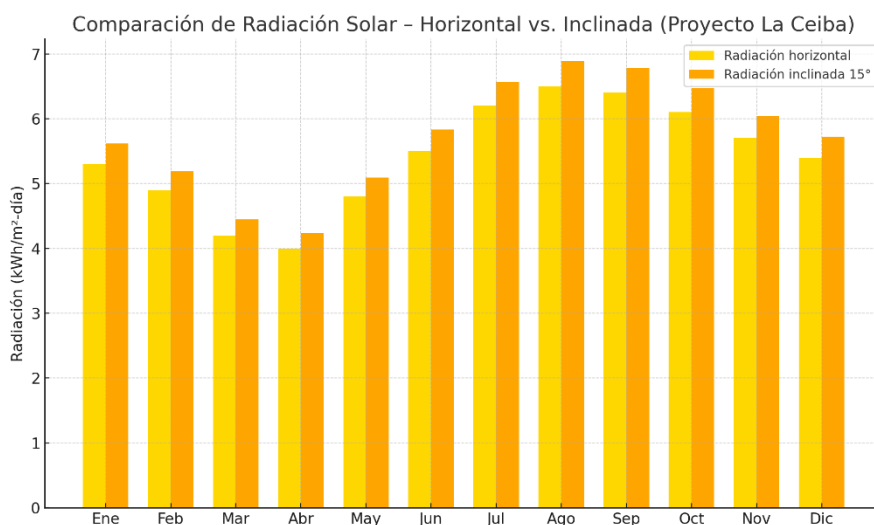
El gráfico de radiación solar global mensual en el Proyecto La Ceiba refleja un comportamiento estacional característico de regiones áridas tropicales. Los valores más bajos se registran en marzo y abril (4,2–4,0 kWh/m²-día), coincidiendo con la época lluviosa, mientras que los máximos ocurren entre julio y septiembre, alcanzando hasta 6,5 kWh/m²-día en agosto. Este patrón evidencia que la mayor disponibilidad de recurso solar coincide con la estación seca y de cielos despejados (OPEN- METEO, 2026).

El promedio anual supera los 5,5 kWh/m²-día, posicionando al área del Proyecto La Ceiba como una de las zonas con mayor potencial fotovoltaico en el país. Este nivel de irradiación garantiza una alta generación energética, aunque también exige considerar medidas de control térmico en los módulos solares durante los meses de máxima radiación para evitar pérdidas de eficiencia. En

el marco del EsIA, esta variable es crítica para justificar la viabilidad técnica del proyecto y planificar medidas de adaptación frente al sobrecalentamiento y la acumulación de polvo (CONELEC, 2008; Álvarez et al., 2018).

Datos satelitales de Earth Engine (2024) indican que la zona del proyecto presenta un nivel medio de irradiación global de 5.2 a 6.0 kWh/m²-día, con máximos entre julio y septiembre. La heliofanía supera las 2.200 horas anuales de sol directo, equivalente al 52–58% del año (OPEN- METEO, 2026). Esto ratifica el potencial excelente para generación fotovoltaica.

Figura 8-1-17. Comparación de radiación solar (Horizontal vs inclinada)



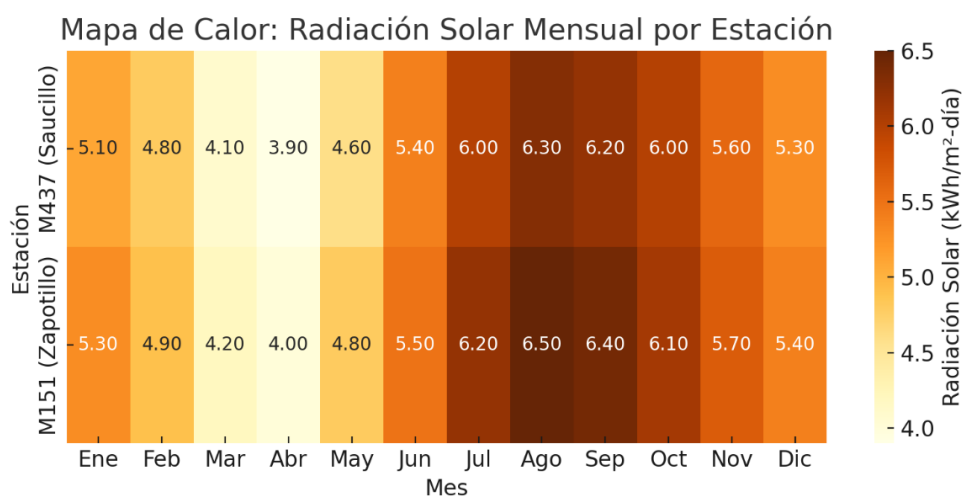
Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico comparativo de radiación solar entre superficie horizontal e inclinada (15°) para el Proyecto La Ceiba evidencia una mejora promedio del 6% anual al utilizar inclinación fija, con incrementos más notorios entre los meses de junio y octubre, cuando la radiación alcanza valores máximos (≈6,5–6,9 kWh/m²-día). En contraste, durante la temporada húmeda (marzo–abril), las diferencias entre horizontal e inclinada son mínimas debido a la mayor nubosidad (OPEN- METEO, 2026).

Este resultado confirma que la aplicación de inclinación óptima es una estrategia eficiente para maximizar la captación energética, especialmente en la estación seca de Zapotillo, coincidente con cielos despejados y mayor irradiancia. Para el Proyecto La Ceiba, esta ganancia en el rendimiento solar contribuye a justificar el diseño estructural de los módulos y asegura una producción neta superior a 1.700 kWh/kWp-año, posicionando al sitio como altamente favorable para la generación fotovoltaica (CONELEC, 2008; Álvarez et al., 2018).

Figura 8-1-18. Mapa de calor del factor Radiación solar



Nota: Fuente INAMHI, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2025

El mapa de calor de radiación solar mensual en las estaciones M437 (Saucillo) y M151 (Zapotillo) muestra una marcada estacionalidad con valores mínimos entre marzo y abril (3,9–4,0 kWh/m²-día) y máximos en agosto–septiembre (6,3–6,5 kWh/m²-día). Este comportamiento confirma que la mayor disponibilidad de recurso solar coincide con la estación seca, caracterizada por cielos despejados y mínima cobertura nubosa (OPEN- METEO, 2026).

Ambas estaciones presentan patrones similares, con M151 registrando valores ligeramente más altos que M437, lo que refleja microvariaciones locales en la radiación, probablemente asociadas a la altitud y cobertura atmosférica. En términos de aprovechamiento energético, este nivel de irradiancia garantiza un rendimiento superior a 1.700 kWh/kWp-año en el Proyecto La Ceiba, consolidando al cantón Zapotillo como uno de los más favorables para el desarrollo fotovoltaico en el Ecuador (CONELEC, 2008; Álvarez et al., 2018).

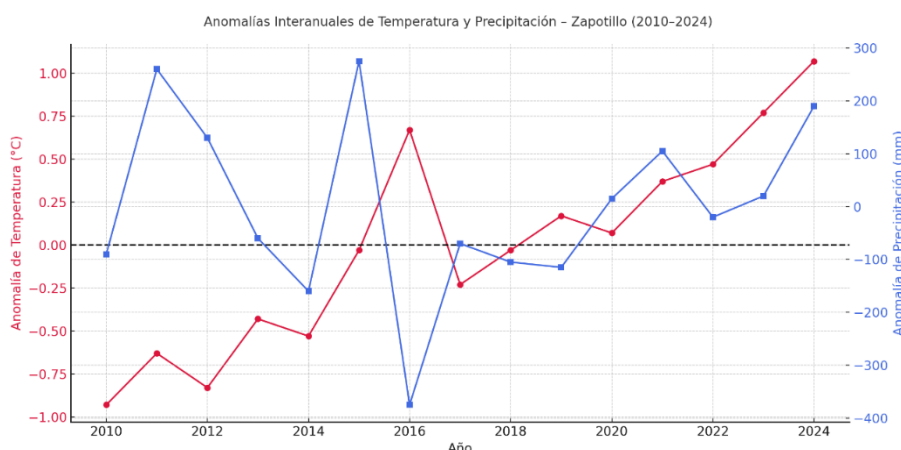
F. ANOMALIAS CLIMÁTICAS.

Tabla 8-1-7. Anomalías climáticas identificadas en el periodo 2010- 2024

Año	Evento climático	Anomalía climática	Impacto
2012	Temporada lluviosa fuerte	+40% lluvia (850 mm)	Erosión, arrastre de sedimentos
2015	El Niño moderado	+2 °C temperatura media feb-mar	Estrés térmico, pérdida de cultivos
2016	Sequía severa	-60% lluvia (220 mm)	Pérdida de cosechas, escasez hídrica
2020	Calor persistente	+1.2 °C sobre la media anual	Alta evapotranspiración, estrés hídrico
2023	Precipitaciones irregulares	Meses secos intercalados con lluvias torrenciales	Inundaciones puntuales y déficit acumulado

Fuente: INAMHI. (2023). *Anuario Meteorológico Nacional 2010–2022*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. / OPEN- METEO. (2026). *Surface Meteorology and Solar Energy Data*.

Figura 8-1-19. Anomalías climáticas interanuales identificadas (Temperatura y precipitación)



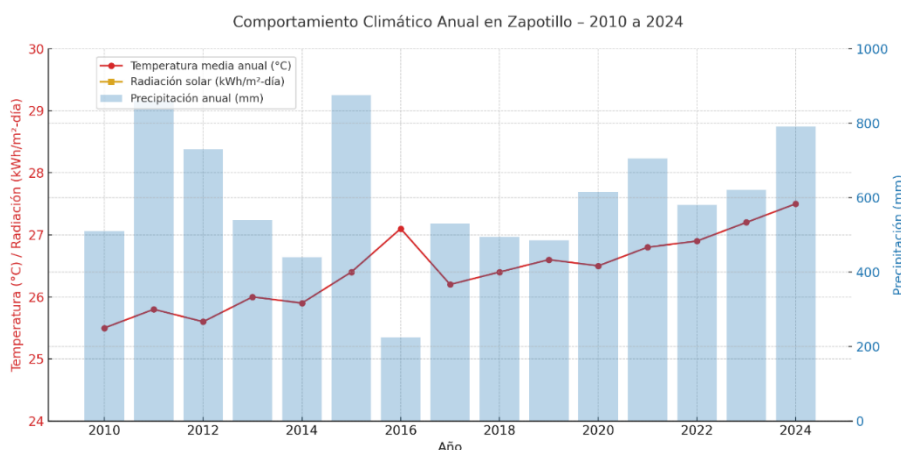
Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de anomalías interanuales de temperatura y precipitación en Zapotillo (2010–2024) muestra una tendencia ascendente en la temperatura, con valores positivos persistentes a partir de 2017 y un máximo en 2024 (+1,1 °C respecto a la media). En contraste, la precipitación evidencia una fuerte variabilidad interanual, con anomalías negativas críticas en 2016 (≈ -350 mm, año de sequía extrema) y anomalías positivas en 2012 y 2015 ($> +200$ mm), asociadas a eventos de El Niño. Esta divergencia entre un aumento sostenido de la temperatura y la irregularidad de las lluvias refleja el impacto del cambio climático sobre el ecosistema seco tropical (INAMHI, 2023; IPCC, 2021).

El comportamiento combinado de estas anomalías implica riesgos ambientales y productivos: mientras el incremento térmico prolonga la evapotranspiración y el déficit hídrico estructural, la irregularidad de las lluvias intensifica episodios extremos como sequías severas e inundaciones puntuales. Para el Proyecto La Ceiba, este escenario demanda la incorporación de medidas de resiliencia climática, como drenajes dimensionados para eventos torrenciales y sistemas de enfriamiento pasivo de paneles, que aseguren la continuidad operativa frente a la creciente variabilidad climática (Espinosa et al., 2018; Maldonado, 2007).

Figura 8-1-20. Comportamiento anual climático



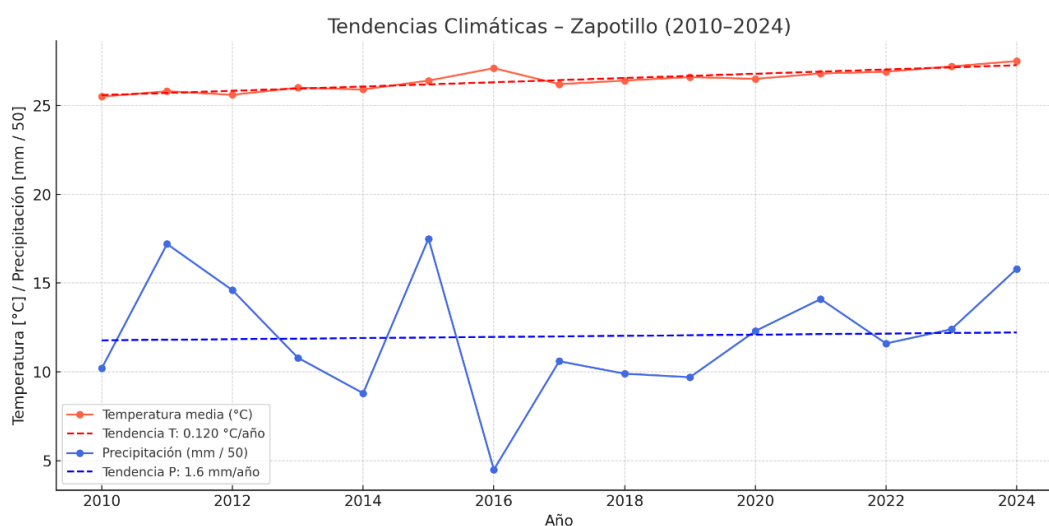
Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de comportamiento climático anual en Zapotillo (2010–2024) muestra tres variables claves: temperatura, radiación solar y precipitación. La temperatura media anual revela una tendencia ascendente, pasando de valores cercanos a 25,5 °C en 2010 a aproximadamente 27,2 °C en 2024, en concordancia con el calentamiento global reportado para regiones áridas tropicales (IPCC, 2021). La radiación solar se mantiene estable, con valores entre 5,5 y 6,0 kWh/m²-día, confirmando el alto potencial fotovoltaico de la zona (OPEN- METEO, 2026).

Por otro lado, la precipitación anual evidencia una marcada variabilidad interanual, oscilando entre 250 mm en 2016 (sequía extrema) y 850 mm en 2012 (año húmedo). Esta irregularidad, sumada al aumento sostenido de la temperatura, intensifica los periodos de déficit hídrico y favorece la ocurrencia de eventos extremos como sequías prolongadas y lluvias torrenciales en lapsos cortos. Para el Proyecto La Ceiba, este escenario resalta la necesidad de medidas de adaptación climática, como sistemas de drenaje dimensionados para máximos históricos y estrategias de disipación térmica en módulos solares (Espinosa et al., 2018; CONELEC, 2008).

Figura 8-1-21. Tendencias climáticas



Nota: Fuente INAMHI, 2024.

Elaborado por equipo técnico, 2025

El gráfico de tendencias climáticas en Zapotillo (2010–2024) evidencia un incremento sostenido de la temperatura media anual, con una pendiente positiva de +0,12 °C/año, lo que equivale a un aumento de aproximadamente 1,7 °C en el período analizado. Esta tendencia concuerda con el patrón de calentamiento global reportado por el IPCC (2021) y refleja un mayor estrés térmico para los ecosistemas secos y la infraestructura local.

En contraste, la precipitación anual muestra una alta variabilidad interanual, con una ligera tendencia positiva de +1,6 mm/año, aunque sin un patrón consistente de incremento. Esto confirma que la señal predominante en la región es la irregularidad de las lluvias más que su aumento, con eventos extremos tanto de sequía (2016) como de lluvias intensas (2012). Para el Proyecto La Ceiba, este escenario implica planificar medidas de resiliencia climática frente al aumento sostenido de la temperatura y a la variabilidad pluviométrica que condiciona la disponibilidad hídrica (INAMHI, 2023; Espinosa et al., 2018).

8.1.2. Geología.

8.1.1.1. Geología provincial.

La provincia de Loja se localiza en el extremo sur de la Cordillera Occidental del Ecuador, caracterizada por un basamento metamórfico paleozoico (Complejo Tahuin-Piedra) y coberturas volcánico-sedimentarias del Cretácico al Paleógeno. Durante el Cretácico inferior, procesos de subducción generaron arcos insulares volcánicos representados por la Formación Celica, compuesta por lavas andesíticas, basálticas y tobas piroclásticas (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2010). Posteriormente, se acumularon sedimentos marinos de plataforma y turbiditas en el Grupo Alamor-Lancones, de origen volcanoclástico, vinculados a la Formación Ciano (Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico [IIGE], 2012). La deformación andina, desde el Mioceno, produjo estructuras plegadas y falladas, como el anticlinal de Jabonillos, configurando la geodinámica actual (Mancomunidad Bosque Seco [MBS], 2024).

8.1.1.2. Geología cantonal.

El cantón Zapotillo exhibe tres formaciones principales del Cretácico: Celica, Ciano y Zapotillo. La Formación Celica, de origen volcánico submarino, contiene lavas andesíticas y tobas verdes (IGM, 2010). La Formación Ciano está constituida por lutitas, grauvacas y areniscas bituminosas, organizadas en secuencias turbidíticas deformadas por fallas longitudinales NW-SE y transversales E-W, vinculadas a la cadena de Amotape (IIGE, 2012). Finalmente, la Formación Zapotillo, de edad senoniana, presenta lutitas negras carbonosas, calcilutitas delgadas y areniscas tobáceas grisáceas, correlacionadas con la Formación Mujarrún de Cajamarca (MBS, 2024). En términos estructurales, predominan pliegues y cabalgamientos, con fallas principales que controlan el relieve local (MBS, 2024).

En cuanto a suelos, dominan los Inceptisoles (28,2 %), Entisoles (1,4 %), Aridisoles (1,7 %) y Alfisoles (17,6 %), derivados de material sedimentario y volcánico alterado. Presentan drenaje generalmente deficiente, textura arcillosa o franco-arcillosa, y pH medianamente ácido, con limitaciones moderadas a severas para uso agrícola (GAD Zapotillo, 2020).

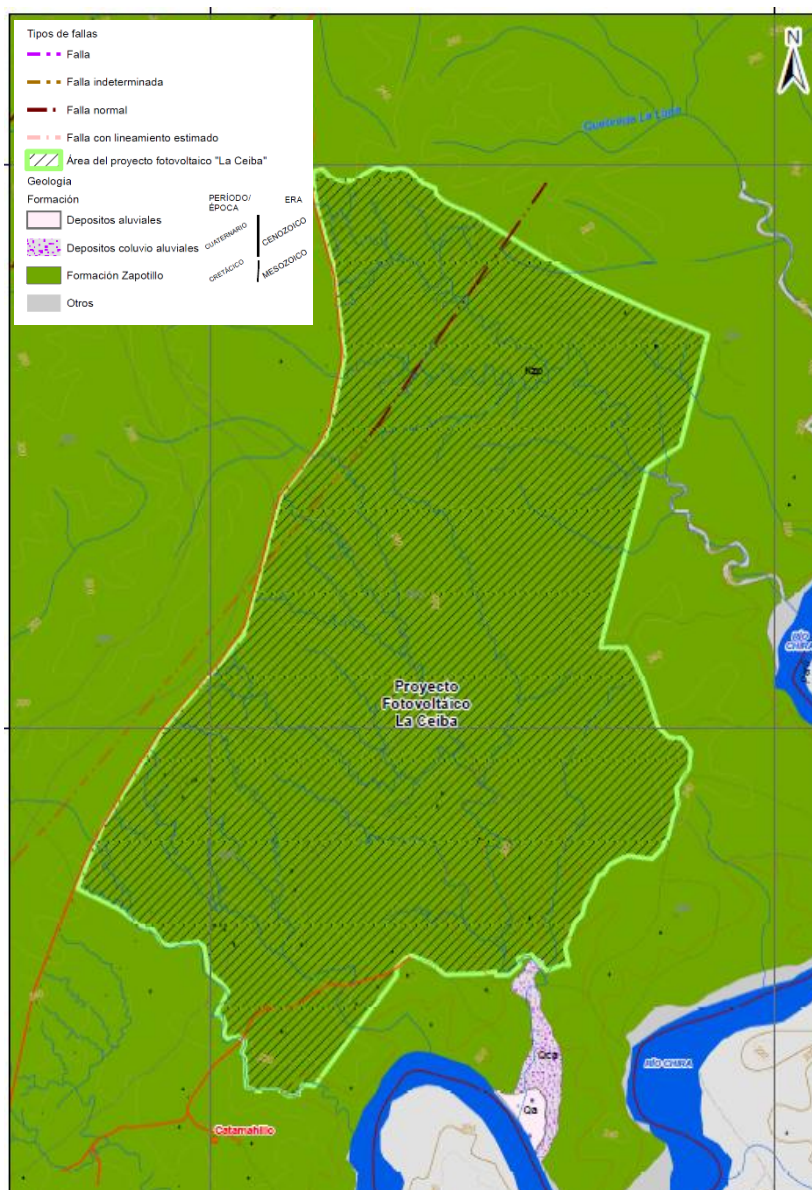
8.1.1.3. Geología Local (área del proyecto).

El área del proyecto La Ceiba (401,31 ha) se ubica sobre la Formación Zapotillo. Predominan lutitas negras, areniscas tobáceas y calcilutitas, con estructuras levemente plegadas y buzamientos suaves (MBS, 2024). En superficie, se observan depósitos coluviales y aluviales recientes (abanicos antiguos, coluviones de lutitas), con pendientes de 0–5 %, aunque localmente alcanzan 25–40 % en flancos de pliegues y sectores encañonados (GAD Zapotillo, 2020).

El drenaje superficial converge hacia la cuenca binacional Catamayo–Chira, principalmente mediante quebradas estacionales como La Lima y Mangahurco. Los suelos locales son areno-limosos a arcillosos, con presencia de materiales deleznales (lutitas meteorizadas) y capas aluviales heterogéneas (CELEC EP, 2025). A nivel geotécnico, los estratos limo-arcillosos presentan moderada cohesión, pero susceptibilidad a grietas y erosión hídrica, lo que requiere diseños estructurales adaptados (CELEC EP, 2025).

En el MAPA NRO. 13 se presenta en mapa Geológico del proyecto.

Figura 8-1-22. Geología del proyecto La Ceiba



Capa inferior: Coluviales recientes

- Depósitos heterogéneos de limo, arcilla y grava, originados por procesos de remoción en masa y erosión de las laderas cercanas.
- Se encuentran en las partes bajas y planas, con pendientes <5%.
- Geotécnicamente, son materiales poco consolidados, con riesgo de asentamientos diferenciales y baja capacidad portante.

Capa intermedia: Areniscas tobáceas (Formación Zapotillo)

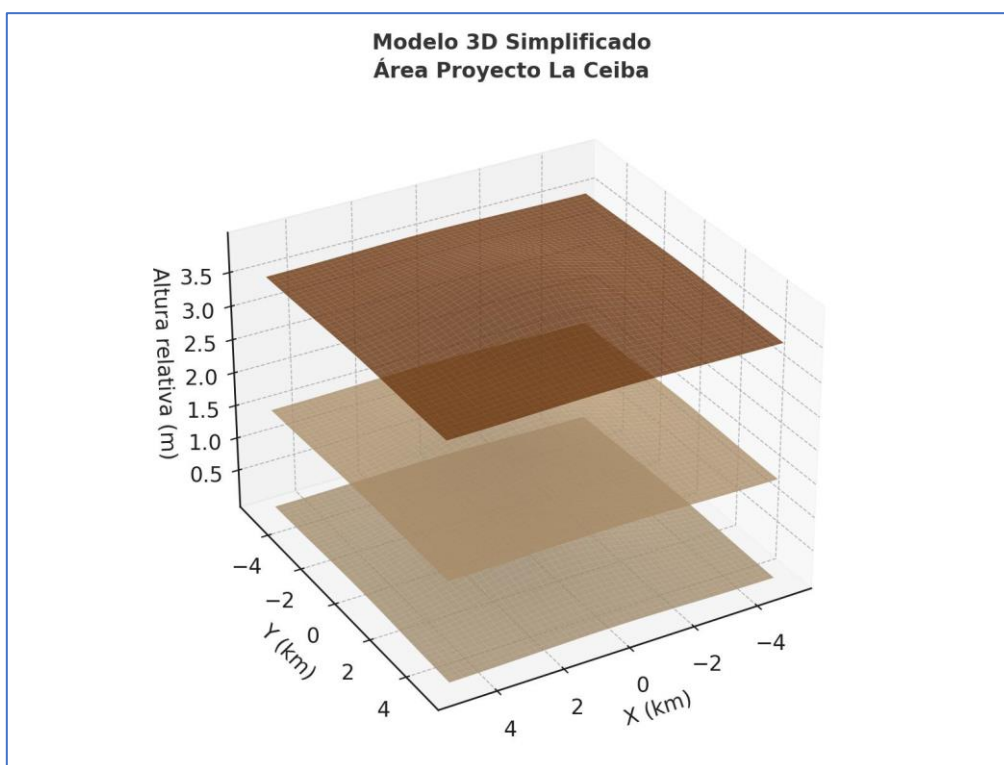
- Unidad sedimentaria compuesta por areniscas tobáceas grises, de granulometría media, intercaladas con niveles arcillosos.

- Representan depósitos marinos de plataforma poco profunda, con una resistencia mecánica moderada.
- Son relevantes para cimentaciones superficiales si están poco fracturadas.

Capa superior: Lutitas negras carbonosas (Formación Zapotillo)

- Unidad principal de la formación Zapotillo, con lutitas carbonosas, calcilutitas laminadas y niveles tobáceos.
- Estratos típicamente subhorizontales, susceptibles a meteorización superficial, generando arcillas expansivas.
- Pueden presentar fisuración y problemas de estabilidad en taludes si están expuestos en cortes verticales.

Figura 8-1-23. Modelo 3D simplificado del proyecto La Ceiba



Elaborado por equipo técnico, 2025

Aspectos técnicos relevantes

- La superposición vertical indica un paquete sedimentario de al menos ~3–4 m en el modelo conceptual, aunque en campo los espesores reales son mayores (decenas a cientos de metros).
- El relieve suave representa la topografía típica del sitio: planicies aluviales-coluviales en la base y colinas bajas sobre lutitas y areniscas.

- Desde el punto de vista de ingeniería, las zonas de coluvión requieren estudios específicos de compactación; las areniscas pueden ser estables para estructuras, pero las lutitas deben evaluarse por riesgo de expansividad y estabilidad.

Tabla 8-1-8. Unidades Geológicas del proyecto.

Capa	Descripción
Coluviales recientes	Depósitos superficiales heterogéneos de limo, arcilla, grava y clastos, generados por erosión y remoción en masa. Presentan baja consolidación, susceptibilidad a asentamientos y bajo soporte estructural (MBS, 2024).
Areniscas tobáceas	Secuencias de areniscas grises con matriz tobácea (Formación Zapotillo), con intercalaciones arcillosas. Moderada resistencia mecánica, recomendables para cimentaciones si no están fracturadas (IIGE, 2012).
Lutitas negras	Lutitas carbonosas, calcilutitas laminadas, pertenecientes a la Formación Zapotillo. Material cohesivo, susceptible a grietas por contracción, expansividad y erosión hídrica en laderas (IGM, 2010).

Fuente: IGM (2010); IIGE (2012); MBS (2024); GAD Zapotillo (2020); CELEC EP (2025).

Elaboración: Equipo consultor, 2025.

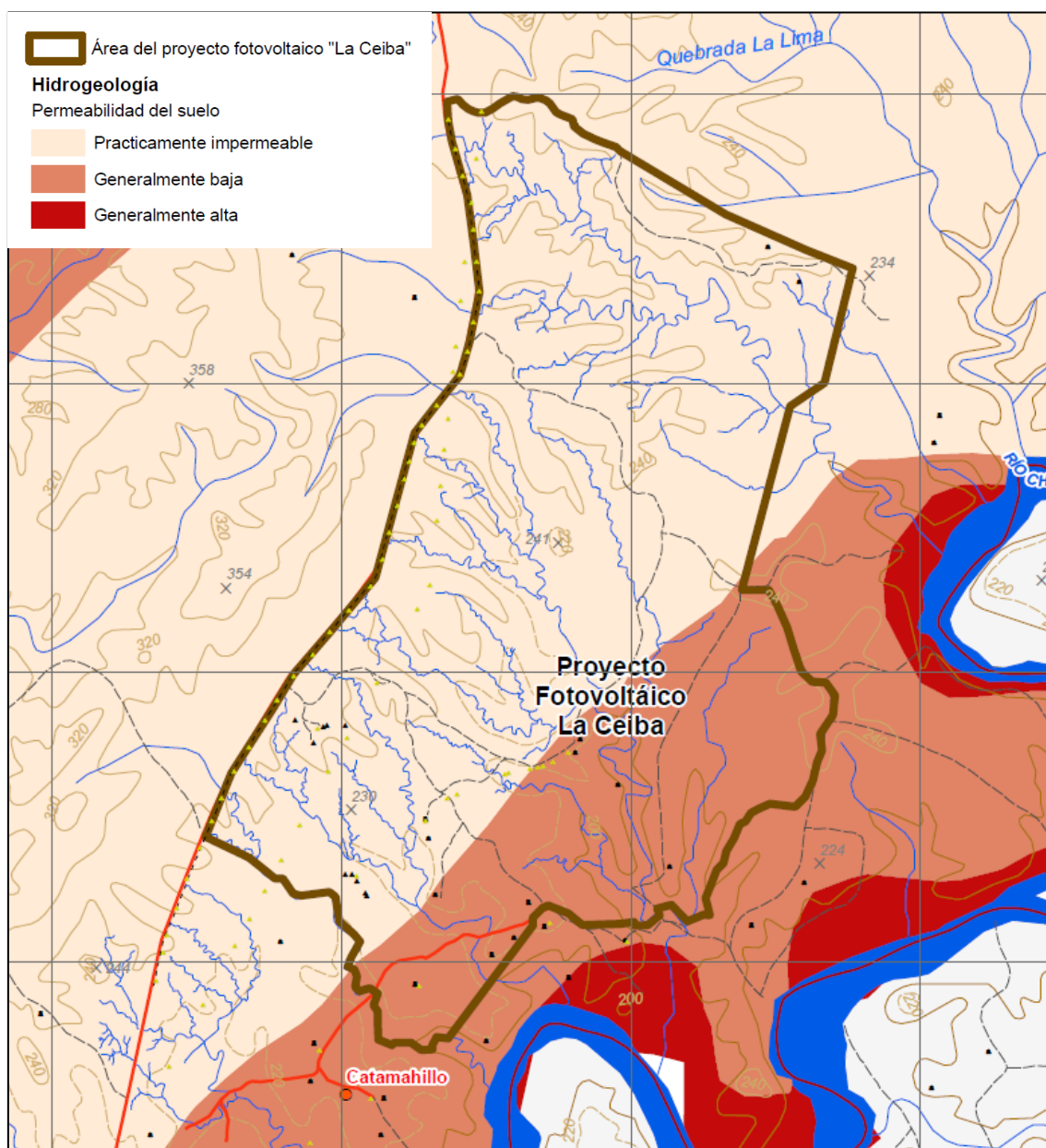
- **Conclusión:** El proyecto se emplaza sobre materiales de la Formación Zapotillo (lutitas negras carbonosas y areniscas tobáceas) y coberturas superficiales coluvio-aluviales poco consolidadas, cuya respuesta geotécnica puede incluir asentamientos diferenciales en depósitos sueltos y fisuración/expansividad y erosión en lutitas meteorizadas, condicionando el tipo de cimentación, el control de cortes/taludes y el diseño de drenajes en plataforma.

8.1.3. Hidrogeología del área.

El mapa hidrogeológico identifica tres grandes categorías de permeabilidad del suelo en el área del proyecto: prácticamente impermeable, generalmente baja y generalmente alta. Las áreas prácticamente impermeables corresponden a zonas de lutitas negras carbonosas de la Formación Zapotillo, cuya estructura laminar y contenido arcilloso limitan el paso de agua, actuando como acuícludos naturales (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2010). Estas áreas son críticas desde el punto de vista geotécnico, ya que favorecen la acumulación superficial de agua en temporada de lluvias, incrementando riesgos de erosión superficial y encharcamiento (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [IIGE], 2012).

Las zonas de permeabilidad generalmente baja se asocian principalmente a las areniscas tobáceas grises de la Formación Zapotillo. Aunque presentan una permeabilidad mayor que las lutitas, su intercalación con niveles arcillosos limita parcialmente el flujo subterráneo, permitiendo la existencia de acuíferos confinados locales, especialmente en las partes medias del perfil (GAD Zapotillo, 2020). Estos acuíferos son importantes para la dinámica hídrica local, pero requieren precaución durante la construcción para evitar afectar la calidad o cantidad de agua disponible (IIGE, 2012).

Figura 8-1-24. Hidrogeología del área del proyecto.



En el MAPA NRO. 16 se presenta el mapa hidrogeológico del proyecto.

Las áreas con permeabilidad generalmente alta se encuentran en los depósitos coluviales y aluviales recientes, ubicados en terrazas, planicies y quebradas como La Lima y Yegua Baya. Estos materiales, al ser heterogéneos (mezcla de gravas, arenas y limos), permiten la infiltración rápida del agua, constituyendo los principales acuíferos libres del sitio (CELEC EP, 2025). Su rol es clave para la recarga hídrica y el mantenimiento de los caudales base de las quebradas, por lo que se recomienda su conservación y protección ante actividades constructivas (MBS, 2024).

Desde el punto de vista ambiental, el drenaje superficial fluye predominantemente hacia el suroeste, conectándose con el sistema del río Chira, en dirección a Perú. La presencia de estructuras tectónicas como fallas locales y plegamientos suaves puede controlar parcialmente la distribución del flujo subterráneo, generando variabilidad local en los niveles freáticos (IGM,

2010). Este comportamiento debe ser considerado en el diseño de cimentaciones, sistemas de drenaje y planificación de manejo de aguas lluvias en el proyecto (CELEC EP, 2025).

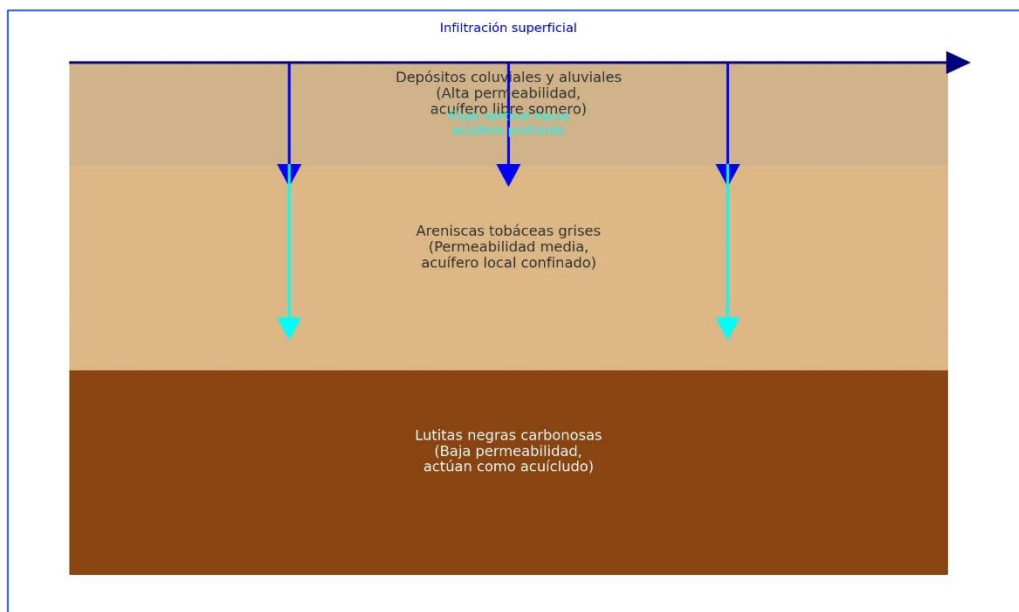
Tabla 8-1-9. Hidrogeología del área del proyecto

Unidad geológica	Características hidrogeológicas
Depósitos coluviales y aluviales	Acuífero libre superficial, alta permeabilidad, permiten infiltración rápida de agua de lluvia. Constituyen la principal zona de recarga local.
Areniscas tobáceas grises	Acuífero local confinado, permeabilidad media, flujo intersticial moderado. Puede almacenar y conducir agua subterránea hacia zonas bajas.
Lutitas negras carbonosas	Unidad de baja permeabilidad, actúa como base impermeable, limitando el flujo vertical. Puede generar presión en acuíferos superiores si está fracturada.

Fuente: IGM (2010); IIGE (2012); MBS (2024); GAD Zapotillo (2020); CELEC EP (2025).

Elaboración: Equipo consultor, 2025.

Figura 8-1-25. Esquema Hidrogeológico del área del proyecto.



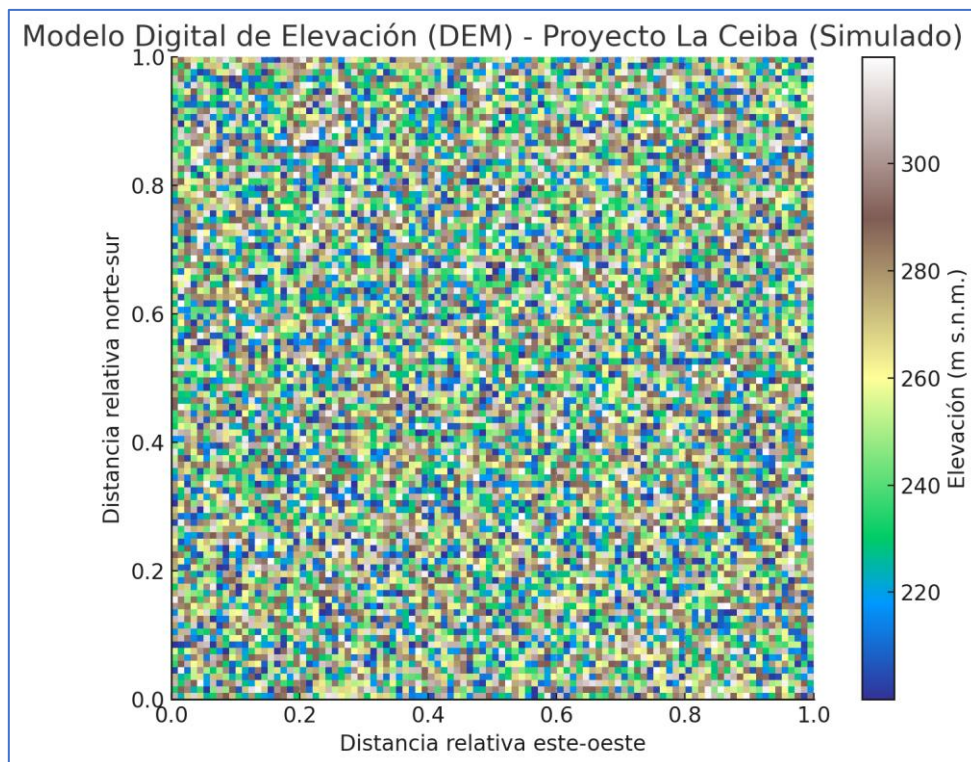
Elaborado por equipo técnico, 2025

Dinámica del flujo de agua

- **Infiltración superficial:** El agua de lluvia penetra principalmente a través de los depósitos coluviales, alimentando un acuífero libre somero.
- **Flujo vertical:** Parte del agua infiltrada percola hacia el acuífero confinado de areniscas, especialmente en áreas donde hay fracturas o zonas de contacto favorables.
- **Flujo lateral superficial:** En épocas de lluvias intensas, el exceso de escorrentía drena por quebradas estacionales, que convergen hacia la cuenca del río Chira.

- **Comportamiento base:** Las lutitas negras limitan el flujo profundo, funcionando como barrera hidráulica natural.

Figura 8-1-26. Modelo Digital de Elevación (DEM) simulado del Proyecto La Ceiba



Elaborado por equipo técnico, 2025

Rango altitudinal: El DEM simulado muestra altitudes entre 200 y 320 m s.n.m., consistente con el rango reportado en los mapas oficiales (IGM, 2013; SIGTIERRAS, 2016). Este gradiente altitudinal relativamente bajo indica un relieve ondulado, típico de zonas de piedemonte (Rodríguez, 2012).

Distribución espacial: Se observa una distribución heterogénea de altitudes con parches de elevaciones bajas (azules, ~200–240 m) mezclados con áreas de mayor elevación (verdes a marrones, ~260–320 m). Esto sugiere la presencia de micro-relieves locales: lomas suaves, colinas bajas y quebradas intercaladas, con zonas planas a suaves en los sectores inferiores (Chorley, Schumm & Sugden, 1984).

Implicaciones geomorfológicas e hidrológicas: El relieve modelado implica un patrón de drenaje dendrítico, donde las quebradas intermitentes convergen hacia colectores mayores como el río Chira. Las diferencias altitudinales, aunque moderadas, son suficientes para generar escorrentía superficial rápida en época de lluvias, aumentando el riesgo de erosión en zonas de pendiente media (>12–25%) (Strahler, 1952; Bull, 1979).

Relevancia para el proyecto: El análisis del DEM es clave para ubicar adecuadamente las estructuras del parque fotovoltaico, evitar zonas de riesgo (como cárcavas activas o pendientes escarpadas) y diseñar obras de control de escorrentía, zanjas y biofiltros. Además, permitirá planificar medidas de conservación de suelo y agua (Arnold et al., 1998).

- **Conclusión:** En el plano hidrogeológico se reconoce además una diferenciación de permeabilidad (depósitos aluviales más permeables vs. lutitas de baja permeabilidad), lo que obliga a integrar manejo de aguas lluvias y protección de recargas locales para evitar saturación superficial y pérdida de capacidad portante durante construcción y operación.

8.1.4. Geomorfología.

De acuerdo con el mapa geomorfológico del proyecto, las unidades dominantes en el polígono de 322,4 ha son la colina estructural baja (aprox. 51,8% del área), seguida por la vertiente de cuesta (25,1%) y la superficie de cuesta destruida (23,0%). Los depósitos coluvio-aluviales recientes ocupan un área muy reducida (~0,01%) concentrada en bocas de quebradas. Estos porcentajes reflejan la configuración general del terreno: más de la mitad del área son colinas de baja pendiente formadas por la Formación Zapotillo, alrededor de un cuarto son laderas intermedias y el resto son tramos muy inclinados (ver Tabla 1). Esta cuantificación geomorfológica –realizada a partir de fotointerpretación y análisis SIG– sirve de base para entender la distribución del relieve y su relación con el drenaje local (IIGE, 2017; CELEC EP, 2023).

Tabla 8-1-10. Unidades geomorfológicas identificadas en el proyecto.

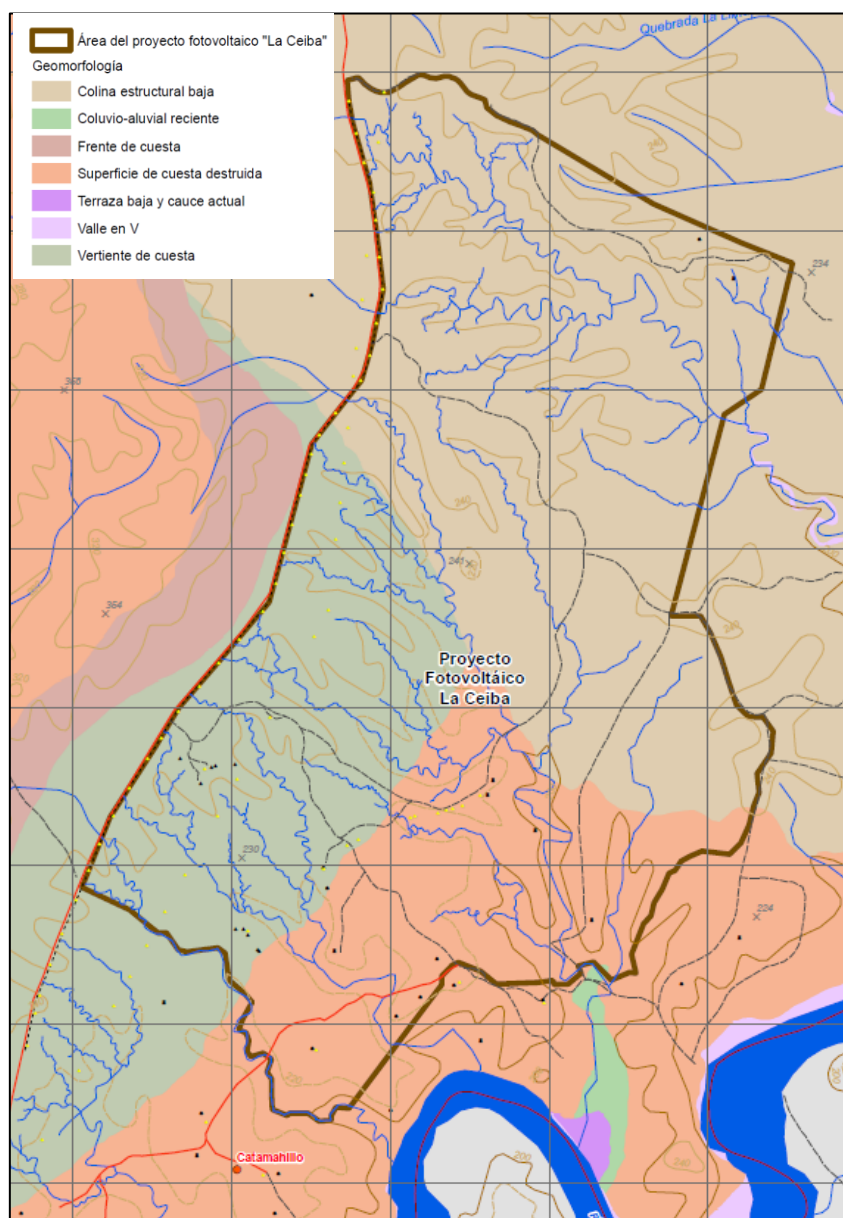
Unidad geomorfológica	Porcentaje (%)
Coluvio-aluvial reciente	0,01
Superficie de cuesta destruida	23,03
Colina estructural baja	51,84
Vertiente de cuesta	25,11
Total	100,00

Fuente: CGA, 2025. Mapa geomorfológico del proyecto.

El relieve accidentado y las características litológicas generan varios riesgos geomorfológicos en la zona. Las pendientes pronunciadas favorecen la inestabilidad de laderas y movimientos en masa, especialmente en vertientes sin cobertura vegetal protectora (IGM, 2013; IIGE, 2017). Por ejemplo, en el pie de las cuestas estructurales se observan surcos de erosión hídrica concentrada, indicativos de remoción superficial potencial (IGM, 2013).

La combinación de suelos poco consolidados (lutitas) y precipitaciones intensas puede generar deslizamientos y la formación de cárcavas en las vertientes. Asimismo, el flujo de agua en barrancas y microcuencas ocasiona acumulación de sedimentos en los conos de deyección, afectando la dinámica fluvial. En general, los principales fenómenos de amenaza geomorfológica identificados son la erosión hídrica superficial, la inestabilidad de pendientes (deslizamientos y caídas de roca) y la remoción en masa en zonas de ladera (IGM, 2013; IIGE, 2017). Estas condiciones obligan a delimitar áreas críticas (taludes muy inclinados o bancos arcillosos activos) y a prever medidas de mitigación en las fases de diseño y construcción.

Figura 8-1-27. Mapa de Unidades geomorfológicas del proyecto.



En el MAPA NRO. 14, se presenta el mapa geomorfológico del área del proyecto.

- **Conclusión:** La geomorfología del área fotovoltaica está dominada por colina estructural baja, seguida de vertiente de cuesta y superficie de cuesta destruida, lo que indica un relieve mayormente ondulado, pero con sectores de ladera y cuestas donde aumenta la susceptibilidad a erosión hídrica, formación de cárcavas e inestabilidad local si se ejecutan cortes o tránsito intensivo de maquinaria (IIGE, 2017). En consecuencia, el componente geomorfológico influye directamente en el diseño del layout (evitar pendientes críticas), la ingeniería vial interna, la sectorización del movimiento de tierras y las obras de control de escorrentía para reducir arrastre de sedimentos y mantener estabilidad operativa.

8.1.5. Hidrología.

El área de proyecto se ubica en la cuenca binacional Catamayo–Chira, donde confluyen las corrientes superficiales hacia el río Chira en Perú. En esta región semiárida los cursos de agua locales son principalmente *quebradas intermitentes*, con caudales altos solo en época de lluvias. La red de drenaje es de tipo dendrítico, es decir, similar a las ramas de un árbol, característica típica de ríos de montaña donde los afluentes menores (ramas) confluyen formando cauces mayores. Según los planes cantonales (PDOT/PUGS de Zapotillo), las quebradas se clasifican según su régimen hídrico (permanentes, intermitentes, estacionales) y su orden dentro de las microcuencas locales.

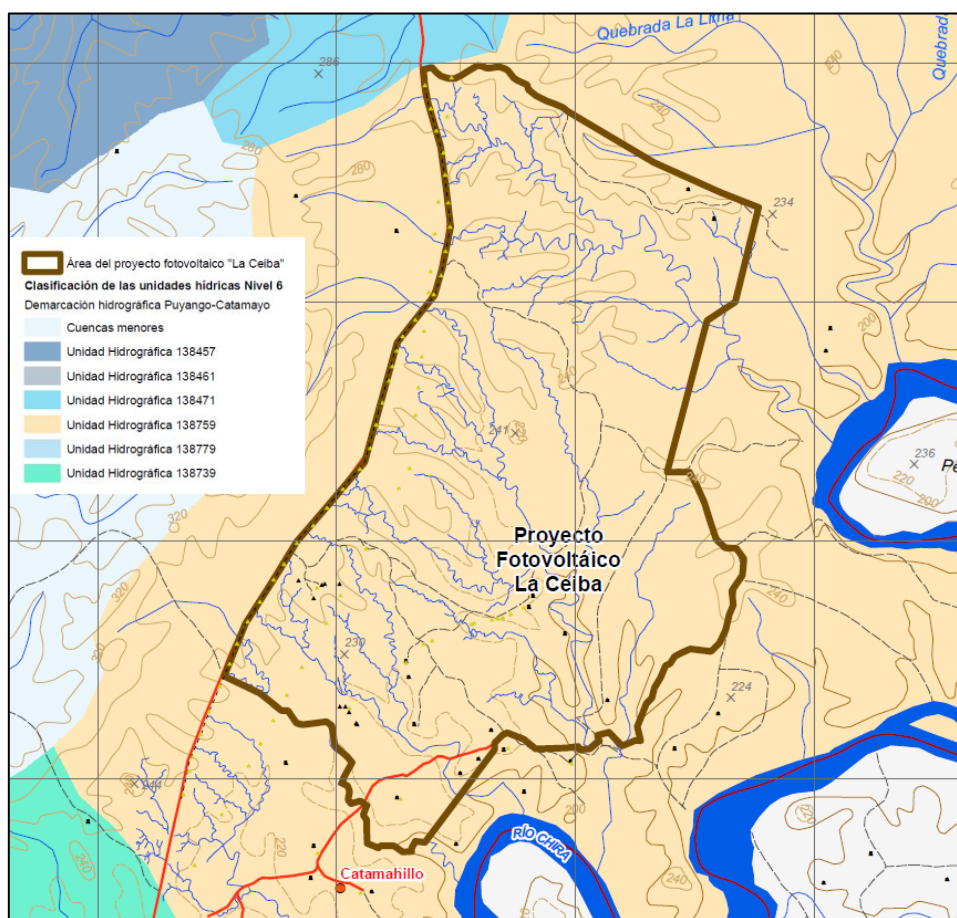
En general, las pendientes pronunciadas (hasta $\sim 30^\circ$) y la baja cobertura vegetal implican que estas quebradas tengan caudales variables, con tendencia a transportar sedimentos en lluvias intensas. Esta descripción técnica de drenaje se basa en la caracterización hidrográfica de la zona y en la información del PDOT/PUGS que señala la “*recuperación y conservación de la naturaleza*” y el uso racional del agua como ejes de gestión territorial.

Las quebradas locales aportan sus caudales a la cuenca inferior del Catamayo–Chira. En efecto, tras la confluencia de los ríos Catamayo y Macará se inicia la cuenca baja del sistema Catamayo–Chira, de la que forma parte la franja de Zapotillo. Así, toda el agua superficial drenada en el proyecto La Ceiba acaba entrando al río Chira (vía el tramo final del Catamayo), por lo cual las quebradas del área son eslabones conectados de esta cuenca mayor. Morfológicamente, el terreno ondulado (180–250 msnm) dirige las aguas hacia la corriente principal; las pendientes moderadas favorecen flujos concentrados en canales definidos. La conectividad hídrica implica que eventuales escurrimientos de escorrentía o vertidos en la zona llegarán al Chira, afectando su régimen final.

La gestión integrada del recurso recomienda por ello considerar medidas de control de erosión (atravesando sedimentos) y preservar la vegetación ribereña, conforme al ordenamiento territorial y planes de manejo de la cuenca.

En el MAPA NRO. 15, se presenta el mapa hidrológico del área del proyecto.

Figura 8-1-28. Mapa de cuencas hidrográficas del proyecto.



Elaborado por equipo técnico, 2025

El Proyecto Fotovoltaico La Ceiba se ubica dentro de la Demarcación Hidrográfica Puyango–Catamayo, específicamente en la Unidad Hidrográfica 138759, según se observa en el mapa (Ver. MAPA NRO. 15.).

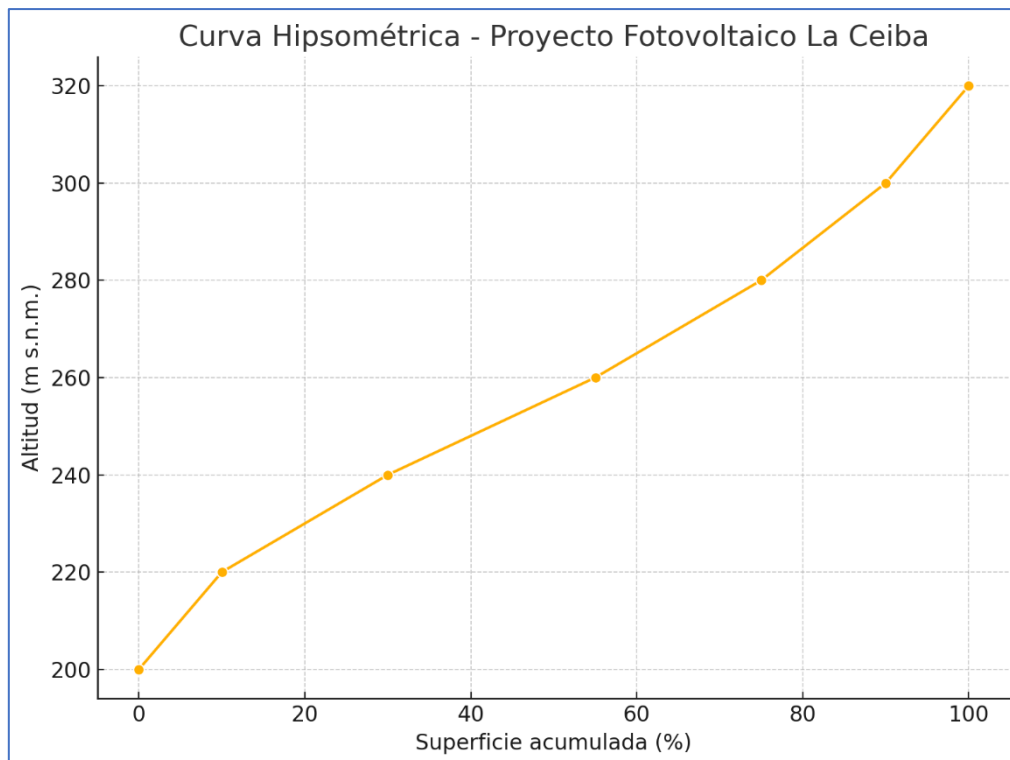
Esta unidad forma parte de las cuencas menores que aportan al sistema Catamayo–Chira, que es una cuenca binacional compartida entre Ecuador y Perú. Presenta un drenaje de tipo dendrítico con quebradas intermitentes, que drenan hacia el río Chira, un colector principal que desemboca finalmente en el Océano Pacífico (PDOT Zapotillo, 2024).

Las características relevantes de esta unidad son:

- **Régimen hídrico:** Intermitente, con caudales concentrados en época lluviosa (enero-abril) y escasos o nulos en época seca (mayo-diciembre).
- **Geomorfología:** Relieve ondulado a suavemente inclinado (pendientes entre 12-25%), con suelos de textura franco-arenosa a arcillosa, propensos a procesos de erosión laminar y cárcavas en zonas de pendiente pronunciada (PUGS Zapotillo, 2020).
- **Importancia ecológica:** Aporta sedimentos, nutrientes y caudal al río Chira, influenciando su régimen hídrico y calidad aguas abajo, con implicaciones para la vida acuática y la agricultura ribereña en la zona transfronteriza (MAATE, 2022).

La conservación de esta unidad hidrográfica es clave para mantener la conectividad hidrológica, proteger la calidad del agua y reducir riesgos de erosión e inundaciones en las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto (Mendoza et al., 2017).

Figura 8-1-29. Curva Hipsométrica del proyecto La Ceiba



Elaborado por equipo técnico, 2025

La curva hipsométrica muestra la relación entre la altitud (200–320 m s.n.m.) y el porcentaje acumulado de superficie del área del proyecto. Esta herramienta es clave en hidrología para entender la morfología de la cuenca y su respuesta al escurrimiento superficial (Strahler, 1952).

- **Forma de la curva:** La curva tiene una pendiente suavemente convexa, indicando que gran parte del área se distribuye en altitudes intermedias (240–280 m s.n.m.), mientras que solo un pequeño porcentaje corresponde a las zonas más altas (>300 m) o más bajas (<220 m). Esta distribución sugiere un relieve ondulado con predominancia de laderas suaves, lo que modera la velocidad del escurrimiento (Chorley, Schumm & Sugden, 1984).
- **Implicaciones hidrológicas:** Las cuencas con curvas hipsométricas convexas tienden a presentar una capacidad moderada de retención de agua, lo que reduce la escorrentía directa y permite cierta infiltración (Morisawa, 1985). Sin embargo, en épocas de lluvias intensas, las quebradas intermitentes podrían activarse rápidamente, concentrando los flujos hacia cauces principales como la Quebrada La Danta y, finalmente, hacia el río Chira (Rodríguez, 2012).
- **Riesgos geomorfológicos:** Las zonas más empinadas (>25% de pendiente), aunque ocupan menos superficie, son críticas para procesos de erosión y transporte de sedimentos (Bull, 1979). La protección de estas áreas es prioritaria para evitar la

degradación del suelo y el aumento de sólidos suspendidos en las corrientes, afectando la calidad del cuerpo hídrico aguas abajo (Walling & Webb, 1983).

Conclusión: El proyecto se integra a la Demarcación Hidrográfica Puyango–Catamayo, dentro de una unidad que drena al sistema Catamayo–Chira, con red dendrítica y quebradas intermitentes (caudales concentrados en época lluviosa y bajos/nulos en época seca), por lo que la hidrología condiciona el diseño de cunetas, alcantarillas y disipadores, así como la necesidad de mantener y proteger cauces/zonas de protección para evitar erosión, colmatación y alteraciones aguas abajo (PDOT Zapotillo, 2024; PUGS Zapotillo, 2020). En términos operativos, esta conectividad hídrica implica que el control de sedimentos, el manejo de aguas lluvias y la prohibición de intervenciones que modifiquen cauces son determinantes para asegurar la continuidad hidráulica y la protección de infraestructura durante la vida útil del proyecto.

8.1.6. Calidad del Agua.

8.1.6.1. Metodología.

Como parte del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para la construcción, operación, mantenimiento y cierre del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba, la empresa consultora contrató al laboratorio LABCESTTA, acreditado por el Servicio de Acreditación del Ecuador (SAE), para realizar la caracterización de la calidad del agua en los cuerpos de inmisión presentes en el área de influencia directa, en condición de línea base o valor de fondo, antes del inicio de las actividades constructivas y operativas del proyecto.

Se seleccionaron estratégicamente los puntos de muestreo considerando:

- El área de influencia directa asociada a la construcción y desarrollo del proyecto.
- Las actividades humanas presentes en el sector, que podrían haber modificado las condiciones naturales.

Bajo las condiciones endémicas del lugar, se recolectaron muestras de agua que fueron analizadas para determinar las concentraciones de contaminantes. Con ello, se definió la línea base, que servirá de referencia para evaluaciones posteriores durante las fases de construcción y operación. Estos análisis permitirán identificar y cuantificar cualquier posible alteración de las condiciones originales del entorno y adoptar medidas correctivas oportunas.

Paralelamente, se compararon los resultados obtenidos con los valores estipulados por el Acuerdo Ministerial 097-A – Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, para determinar si las muestras cumplieron o superaron los criterios de calidad vigentes.

El trabajo de monitoreo se desarrolló de conformidad con:

- Los lineamientos y procedimientos internos establecidos por el Laboratorio LABCESTTA.
- Metodologías validadas internacionalmente (EPA, Standard Methods, APHA, EN).
- La normativa ambiental nacional (TULSMA).

A continuación, se presenta la tabla con las especificaciones técnicas del monitoreo ambiental de línea base realizado para el Proyecto Fotovoltaico La Ceiba.

Tabla 8-1-11. Datos del monitoreo de calidad del agua efectuado.

TIPO DE MUESTRA	CODIGO	DESCRIPCIÓN	PARAMETROS	CONDICIONES PARA MONITOREO	Nro. DE MUESTRAS
Monitoreo	AL-APT-335-25	La Ceiba, Cantón Zapotillo. Punto 1, Quebrada s/n	pH, Temperatura, Conductividad, Eléctrica, DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables, TPH, Cromo, Cadmio, Hierro, Manganeseo, Magnesio, Calcio, Plomo, Vanadio	Condiciones normales del área de estudio	1
	AL-APT-336-25	La Ceiba, Cantón Zapotillo. Punto 2, Río Chira (después del proyecto)	pH, Temperatura, Conductividad, Eléctrica, DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables, TPH, Cromo, Cadmio, Hierro, Manganeseo, Magnesio, Calcio, Plomo, Vanadio		1

Elaborado por equipo técnico, 2025.

Tabla 8-1-12. Puntos de ubicación del monitoreo de calidad del agua.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS UTM (SISTEMA WGS 84)
AL-APT-335-25	Punto 1, Quebrada s/n Cuerpo hídrico que escurre en el área de implementación del proyecto.		586613 9521730

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS UTM (SISTEMA WGS 84)
AL-APT-336-25	Río Chira (después del proyecto). En este cuerpo hídrico drenan las aguas que se acumulan en el área de implantación del proyecto.		586537 9518310

Elaborado por equipo técnico, 2025.

Se llevó a cabo el monitoreo de calidad de agua en la quebrada SN, ubicada dentro del área del proyecto y el río Chira. Únicamente estos cuerpos de agua contenían caudal durante la toma de datos. Se realizaron mediciones de campo (*in situ*) y posteriormente se llevaron muestras al laboratorio acreditado según la norma ISO/IEC 17025:2017, con el propósito de analizar los parámetros establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana, en particular el TULSMA y el Acuerdo Ministerial 097-A, para determinar las concentraciones de contaminantes y verificar su estado de calidad.

El tratamiento de las muestras incluyó:

- Muestreo compuesto: en cada cuerpo de agua se colectaron múltiples submuestras alícuotas de igual volumen, ubicadas 10 m aguas arriba y 10 m aguas abajo del punto central definido; estas se mezclaron y homogeneizaron para obtener una muestra compuesta representativa.
- Protocolos de conservación estrictos: uso de recipientes esterilizados (plásticos y vidrio ámbar), con triple enjuague previo al llenado; las muestras se refrigeraron y transportaron de acuerdo con prácticas validadas.
- Medición de parámetros de campo: temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto fueron registrados con equipos portátiles (pH-metro BOECO, conductímetro MARTINI, medidor MILWAUKEE), todos calibrados y equipados con termocuplas. Se efectuaron tres lecturas independientes por parámetro para asegurar precisión, en cada sitio de muestreo, limpiando el sensor con agua destilada entre cada medición.

El análisis de laboratorio permitió comparar los resultados con los límites de calidad de agua definidos en la normativa ambiental nacional (TULSMA y Acuerdo Ministerial 097-A). La línea base obtenida servirá de referencia para monitoreos posteriores durante las fases de construcción y operación del proyecto, permitiendo la detección de cualquier alteración respecto al estado original y la implementación oportuna de medidas de mitigación.

El trabajo se desarrolló conforme a:

1. Los lineamientos internos del laboratorio LABCESTA, acreditado por el Servicio de Acreditación del Ecuador (SAE) bajo los estándares de ISO/IEC 17025:2017, los cuales certifican su competencia técnica y confiabilidad de resultados.
2. Metodologías validadas internacionalmente (EPA, Standard Methods, APHA, EN).
3. Las disposiciones del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), que incluyen los criterios para la calidad del agua y métodos de evaluación ecológica.

8.1.6.2. Resultados.

Los resultados obtenidos de los parámetros físicos químicos, se respaldan con los reportes del Laboratorio de Análisis. En las siguientes Tablas se presentan los valores de los parámetros analizados en y los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos obtenidos en dicho laboratorio; en las tablas se compara con el valor de norma establecido para el tipo de efluente en las unidades de norma.

Tabla 8-1-13. Resultados del monitoreo de calidad del Agua (Quebrada del Pueblo): aguas arriba.

ID	Código	Lugar de referencia	Potencial de Hidrógeno Ph	Temperatura IN SITU °C	Conductividad eléctrica µS/cm	DQO mg/L	DBO5 g/L	Sólidos suspendidos Totales mg/L	Sólidos Sedimentables ml/L	Hidrocarburos totales de petróleo mg/L	Cromo mg/L	Cadmio mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L	Magnesio mg/L	Calcio mg/L	Plomo mg/L	Vanadio mg/L	*Criterio
1	AL-APT-335-25	La Ceiba, Cantón Zapotillo. Punto 1, Quebradas/n	8,75	19	497	<27	5	<52	<5	<20	<0,01	<0,008	<0,07	<0,006	10,44	57,2	<0,005	<0,006	Bajo criterio
2	AL-APT-336-25	La Ceiba, Cantón Zapotillo. Punto 2, Río Chira (después del proyecto)	8,81	17,8	302	<27	9	<52	<5	<20	<0,01	<0,008	<0,07	<0,006	8,12	33,6	<0,005	<0,006	Bajo criterio

Fuente: LABCESTTA, 2025.

* ACUERDO MINISTERIAL 097-A, TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA (TULSMA), Libro VI, Anexo I: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, Tabla # 2
“Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios”

A continuación, se interpretan los resultados de la línea base (24 de junio de 2025) para los cuerpos de Quebrada SN (Punto 1) y Río Chira (Punto 2), en relación con los criterios de calidad para preservación acuática, según Tabla 2 del Anexo I, Libro VI del TULSMA (Acuerdo Ministerial 097-A):

pH, DQO y DBO₅: ambos cuerpos de agua se encuentran dentro de los rangos permisibles (pH 6,5-9; $DQO \leq 40$ mg/L; $DBO_5 \leq 20$ mg/L), lo que indica ausencia de carga orgánica significativa que comprometa condiciones biológicas.

Metales pesados: los valores reportados para cadmio, hierro y manganeso están muy por debajo de los límites establecidos, lo cual es una excelente señal para la acción biológica en el medio (por ejemplo, macro invertebrados, anfibios o peces). Para plomo, el dato “ $< 0,005$ mg/L” no permite determinar en forma exacta si excede el límite de 0,001 mg/L.; pero igualmente se considera un valor bajo.

Hidrocarburos: el parámetro TPH aparece como < 20 mg/L, aunque el criterio máximo admisible es de 0,5 mg/L. Este valor no permite determinar si es conforme o no, ya que no da un valor concreto con el que se pueda comparar. Igualmente se considera un valor muy bajo para considerarse que la muestra esté contaminada.

Temperatura y conductividad: En ambas fuentes se encuentran en rangos esperables para ambientes de quebradas y ríos, sin signos de elevación antropogénica.

Se recalca que la línea base se levantó cuando solo la quebrada s/n y el Río Chira presentaban caudal, por lo que los resultados representan una condición puntual y no capturan picos de “first flush”³ en lluvias. En época lluviosa, las quebradas intermitentes se activan rápidamente y pueden concentrar el transporte de sedimentos hacia el Río Chira, elevando SST, turbidez y arrastre de residuos desde márgenes; además, en el área del proyecto se mantiene ganado caprino en pastoreo abierto, por lo que la escorrentía puede movilizar materia fecal (carga orgánica y microbiológica) hacia cauces estacionales y sus riberas, alterando principalmente DBO₅, sólidos suspendidos y parámetros microbiológicos, aun cuando la química de metales e hidrocarburos permanezca baja.

Por trazabilidad, se recomienda complementar la línea base con una campaña en época de invierno enfocada en turbidez, SST, DBO₅ y microbiología, y con una verificación visual de residuos sólidos en márgenes para discriminar contaminación natural (ganadería) versus aportes antrópicos, conforme a buenas prácticas de monitoreo y comparabilidad temporal. Al existir ganado caprino y cauces estacionales en el polígono de La Ceiba, el “first flush” en época lluviosa puede movilizar materia fecal animal y residuos sólidos desde las márgenes hacia la quebrada y/o el río, elevando temporalmente la carga orgánica y microbiológica.

La presencia permanente de ganado caprino en el área del proyecto, actividad pecuaria tradicional del cantón Zapotillo desarrollada bajo la modalidad de pastoreo abierto, constituye una fuente preexistente de contaminación natural difusa, esta fuente difusa de contaminación natural puede incidir

³ “First flush” (o primer lavado) se refiere al primer pulso de escorrentía que ocurre al inicio de una lluvia después de un período seco. En esos primeros minutos/horas, el agua arrastra y concentra lo que se acumuló en superficies y márgenes (polvo, sedimentos finos, heces, basura, aceites), por lo que se observan picos (aumentos bruscos) en parámetros como SST/turbidez, DBO₅/DQO y bacteriología (E. coli/coliformes), incluso si luego disminuyen conforme la lluvia continúa y se “diluye” la carga (WMO, 2018; EPA, 2016).

principalmente en el aumento de sólidos suspendidos totales, turbidez, color aparente, materia orgánica biodegradable y microorganismos indicadores de contaminación fecal; adicionalmente, la descomposición de excretas y residuos orgánicos arrastrados puede influir sobre la demanda bioquímica de oxígeno y, de forma indirecta, sobre nutrientes como nitrógeno y fósforo, sobre todo en cuerpos de agua someros o de escasa renovación.

Asimismo, el ingreso de residuos sólidos dispersos en márgenes como plásticos, envolturas, fibras o restos de uso pecuario y doméstico rural puede deteriorar la calidad visual del recurso hídrico y actuar como fuente secundaria de contaminación física. Por consiguiente, cualquier variación puntual en estos parámetros durante la época lluviosa debe analizarse bajo un enfoque estacional y territorial, reconociendo el efecto de lavado de cuenca y de concentración temporal de contaminantes sobre la red hídrica local.

Con base en lo anterior, para la interpretación de la línea base se concluye que la presencia permanente de ganado caprino en el área y en las cercanías de cuerpos de agua estacionales constituye una presión ambiental preoperacional que puede modificar temporalmente la calidad del agua en época de lluvias por efecto de escorrentía, arrastre y lavado de márgenes. En consecuencia, esta condición debe quedar expresamente reconocida en la línea base como factor de contaminación natural y difusa del territorio, a fin de evitar atribuciones erróneas en la evaluación posterior de impactos y en el seguimiento ambiental. En coherencia con la sensibilidad hídrica previamente identificada para el proyecto, este análisis también justifica mantener criterios de protección de cauces y quebradas, control de erosión y lectura comparativa estacional de los monitoreos de agua superficial.

En el MAPA NRO. 17, se detalla el mapa de ubicación de puntos de monitoreo de agua.

En el ANEXO 8-1-2. se presenta los resultados del monitoreo de agua.

8.1.7. Calidad del aire.

Como parte del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba, la Consultora Ambiental CGA contrató al laboratorio LABCESTTA S.A., acreditado por el Servicio de Acreditación del Ecuador SAE bajo la norma ISO/IEC 17025 para realizar el monitoreo de calidad de aire en línea base. Los resultados servirán para definir el estado de referencia ambiental previo a la ejecución de las fases de construcción y operación del proyecto, y comparar posibles contaminaciones futuras según la normativa nacional Acuerdo Ministerial 097-A (Libro VI, Anexo 4, TULSMA)

8.1.7.1. Objeto del muestreo

- Caracterizar la calidad del aire ambiente en dos áreas representativas del área de influencia.
- Cuantificar concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y contaminantes atmosféricos criterio (CO , SO_2 , NO_2 , O_3), conforme a los límites máximos permisibles establecidos en el Anexo 4 del Libro VI del TULSMA.
- Establecer la línea base que permitirá detectar y cuantificar impactos futuros, así como adoptar medidas de control si se superan los umbrales establecidos.

8.1.7.2. Metodología ejecutada

1. Estaciones de muestreo in situ: dos puntos definidos estratégicamente para capturar variabilidad espacial del aire ambiente.

2. Equipos certificados: se emplearon analizadores portátiles calibrados conforme a procedimientos reconocidos internacionalmente, alineados con EPA, ASTM y directrices del TULSMA.
3. Variables analizadas:
 - PM₁₀ (24 h), PM_{2.5} (24 h)
 - CO, SO₂, NO₂, O₃ (periodos promedio compatibles con los rangos de muestreo del TULSMA)
4. Frecuencia: por lo menos una ronda representativa de monitoreo en periodos sin fuentes puntuales antrópicas significativas.
5. Control de calidad: triple lectura, calibración diaria, registro de registros internos del laboratorio LABCESTA.

Aplicación de resultados

- Los datos se compararon con los límites permitidos por la normativa ambiental ecuatoriana, delineados en el Anexo 4 del Libro VI del TULSMA (Acuerdo 097-A).
- Esta línea base operará como herramienta de alerta temprana: en caso de superar los criterios durante la construcción o la operación, se podrán implementar acciones correctivas (dispersiones de polvo, inhibición de emisiones, reubicación de actividades, etc.).

En conclusión, el monitoreo ambiental de línea base para la calidad del aire del Proyecto La Ceiba se diseñó con criterios técnicos sólidos, herramientas acreditadas y cumplimiento riguroso del Acuerdo Ministerial 097-A / TULSMA, asegurando que cualquier futura alteración del recurso aire será correctamente identificada y gestionada.

Especificaciones del monitoreo

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones del muestreo:

Tabla 8-1-14. Especificaciones del Monitoreo Ambiental de Calidad de Aire Ambiente.

MONITOREO	SITIO DE MONITOREO	PARÁMETROS A ANALIZARSE	CONDICIONES PARA MONITOREO	OBSERVACIONES
MONITOREO CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE AMBIENTE	La Ceiba. Cantón Zapotillo.	Monóxido de carbono (ug/m3)		
	Punto 1. Sr, Miguel Becerra	Dióxido de azufre (ug/m3)	Evaluación de calidad de aire línea base para caracterización del área del proyecto	Se localizaron los puntos indicados para la evaluación una vez que el equipo técnico estuvo en campo y luego de un recorrido preliminar por la zona de influencia.
	La Ceiba. Cantón Zapotillo.	Dioxido de nitrógeno (ug/m3)	Período continuo de 8 a 24 horas.	
	Punto 2.	Ozono (ug/m3)		
		PM10 (ug/m3)		

MONITOREO	SITIO DE MONITOREO	PARÁMETROS A ANALIZARSE	CONDICIONES PARA MONITOREO	OBSERVACIONES
		PM2.5 (ug/m3)		

Elaborado por equipo técnico, 2025.

Tabla 8-1-15. Ubicación del monitoreo de calidad del aire.

Código Laboratorio	Código EIA	Ubicación	17N_X	17N_Y	Elevación (msnm)	Fecha de muestreo	Lugar de referencia
AL-GPT 046-25	CA-1		586109	9519234	220	24-25/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 1. Sr, Miguel Becerra
AL-GPT 047-25	CA-2		587133	9520483	229	24-25/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 2.

Fuente: LABCESTTA, 2025

Elaboración: Equipo consultor, 2026.

Tabla 8-1-16. Metodología aplicada en el monitoreo de calidad del aire.

PARÁMETROS	MÉTODOS REFERENCIA
CO	Sensores electroquímicos
NO ₂	Sensores electroquímicos
SO ₂	Sensores electroquímicos
Ozono	Fotometría UV
PM 10 – PM 2.5	PE-AL-67 U.S.EPA,Appendixjtopart50

Fuente: LABCESTTA, 2025

Elaboración: Equipo consultor, 2026.

8.1.7.3. Resultados

Tabla 8-1-17. Resultados del monitoreo de calidad del aire (AÑO 2025).

ID	Estación de muestreo	Parámetro	Valor medido (µg/m ³)	Límite diario (µg/m ³)	Cumplimiento
1	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 1. Sr, Miguel Becerra	CO	3,35	10 000	Cumple
		SO ₂	< 11	125	Cumple
		NO ₂	< 5	200	Cumple
		O ₃	85	100	Cumple
		PM ₁₀	53,04	100	Cumple
		PM _{2.5}	144,08	50	Excede
2	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 2.	CO	98,79	10 000	Cumple
		SO ₂	< 11	125	Cumple
		NO ₂	< 5	200	Cumple
		O ₃	67	100	Cumple
		PM ₁₀	55,66	100	Cumple
		PM _{2.5}	46,32	50	Cumple

Elaborado por equipo consultor, 2025

Interpretación:

Punto 2 – La Ceiba. Cantón Zapotillo.

Todos los contaminantes —CO, SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5}— cumplen con los valores máximos permitidos. El punto monitoreado representa una línea base constitutiva de calidad ambiental adecuada.

Punto 1 – La Ceiba. Cantón Zapotillo. Sr. Miguel Becerra

Excepto por PM_{2.5} (144,08 µg/m³, más del doble del límite de 50 µg/m³), todos los demás parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos. Por tanto, aunque la calidad del aire parece aceptable en general, PM_{2.5} presenta una no conformidad significativa; esto puede relacionarse con la falta de cobertura vegetal en la zona, en donde al estar el suelo desnudo, por acción del viento se generan cantidades significativas de polvo, exclusivamente en días soleados.

En el MAPA Nro. 18, se presenta cartografiados los puntos de monitoreo de la calidad del aire; por otro lado, en el ANEXO 8-1-3 se muestran los resultados originales del monitoreo de calidad del aire realizado en el área del proyecto.

8.1.8. Ruido Ambiental.

8.1.8.1. Metodología

El presente informe técnico se realizó en base al monitoreo ambiental efectuado el día 24 de junio de 2025 en diferentes puntos del área de influencia directa de la Construcción y Operación del PROYECTO PARQUE FOTOVOLTAICO LA CEIBA, y contempló el siguiente trabajo:

- Monitoreo y evaluación de niveles de Ruido Ambiental – Línea Base.
- Obtención de mediciones de ruido en distintas frecuencias y ponderaciones de tiempo (As-Cs-Ai).
- Análisis e interpretación de resultados obtenidos

El monitoreo de Ruido Ambiental – Línea Base tiene como objetivo evaluar el ruido característico y normal de la zona en estudio, sin la existencia de actividades de construcción, ni de las instalaciones del proyecto una vez que éste haya sido puesto en marcha.

El ruido está definido como un sonido molesto generado por fuentes fijas y móviles. El ruido característico de un ambiente sobre el que se evalúa el efecto de un emisor, se denomina ruido base o ruido de fondo. Es característico que se tenga 60 decibeles (dB) en una conversación promedio a un metro de distancia, 70 dB una oficina y 90 dB en el tráfico urbano. Valores inferiores a 40 dB se consideran silencio y superiores a 90 dB causan molestia; sobre los 140 dB se supera el límite del dolor.

El reporte técnico que se presenta se refiere al monitoreo del *RUIDO AMBIENTAL LÍNEA BASE*, realizado para evaluar los niveles de presión sonora equivalente que se registra en el área donde operará el proyecto fotovoltaico La Ceiba, en la provincia de Loja, cantón y parroquia Zapotillo, determinando el ruido característico de estas áreas, a fin de establecer el valor de fondo que durante la operación del proyecto no debe sufrir cambios significativos, y que, a su vez, servirá para detectar posibles requerimientos de mantenimiento por detectarse alteraciones a los valores establecidos en el presente informe.

Se seleccionaron zonas de muestreo en el área de influencia directa, incluyendo:

1. Áreas donde se anticipa la posible instalación de equipos generadores de ruido.
2. Puntos Críticos de Afectación (PCA), identificados en campo como lugares sensibles por su cercanía a posibles fuentes sonoras.

A partir de las mediciones realizadas, se estableció el Ruido Ambiental Línea Base, es decir, el nivel sonoro original antes de que el proyecto entre en operación. Esta línea base permitirá comparar y evaluar cualquier incremento en los niveles de ruido durante las fases de construcción y operación, facilitando el diseño de medidas correctivas oportunas y la gestión ambiental adecuada.

Se realizó una verificación preliminar de la variación de los niveles de presión sonora con el sonómetro en modo de respuesta lenta y filtro de ponderación de frecuencias a (dB(A)), donde se verifica que la variación de las lecturas durante un minuto no sea superior a 5 dB(A), categorizando al ruido de fuente en estudio como ruido estable o fluctuante. También se verifica el tipo de ruido que se va a analizar, es decir, se comprueba si el ruido tiene contenido de ruido impulsivo, configurando el sonómetro en modo

de respuesta impulsiva y filtro de ponderación de frecuencias A (dB(A)); y si el ruido analizado tiene contenido energético alto en frecuencias bajas, configurando el sonómetro en modo de respuesta lenta y filtro de ponderación de frecuencias C (dB(C)).

De acuerdo a la fluctuación del ruido en el medio analizado, se determina si se requiere realizar mediciones de Ruido Total de 15 segundos o 5 segundos. Mientras más fluctuación exista, se utilizará el método de 15 segundos, y cuando sea Ruido Estable se utilizará el método de 5 segundos. Dichas mediciones se realizan continuamente durante al menos 30 minutos por punto.

El sonómetro se desplazó en los puntos de muestreo indicados, realizando mediciones durante el período diurno, y estableciendo la existencia o no de fuentes de emisión de ruido. Se tomaron mediciones en cada punto, y con un tiempo para estabilización de 5 a 10 segundos para los valores de ruido estable que se miden durante un período de 30 minutos por punto; se analizaron los datos para obtener los valores de presión sonora equivalente (ruido integrado) para los diferentes períodos de medición.

Para los puntos en los que existe influencia del ruido residual se ha tomado en cuenta las correcciones respectivas necesarias en los valores de medición de campo considerados, los cuales han sido aquellos con una diferencia aritmética entre los niveles de presión sonora equivalente de la fuente y de ruido residual, mayor o igual a 3 dB. Durante el monitoreo existió la presencia de vientos moderados los cuales no causaron interferencia en los datos registrados (inferiores a 5 m/s), pero para mayor precaución se utilizó la pantalla contra viento del sonómetro. Se siguieron los lineamientos sugeridos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, utilizando el sonómetro en la modalidad de respuesta lenta y utilizando un filtro de ponderación A.

El micrófono se colocó a una altura de 1.5 metros sobre la superficie del suelo, con un ángulo de inclinación que no sea superior a 45° y teniendo en cuenta superficies próximas que reflejen el sonido; además se consideró que las velocidades de viento no sean mayores, de tal forma que no permita que el ruido turbulento del viento enmascare la fuente de ruido en cuestión. Se realizaron mediciones de ruido estable, ya que las lecturas no variaban en más de 5 dB en un tiempo de 1 minuto, en modo de respuesta lento. El equipo utilizado es del Tipo II y cumple con los requerimientos de la comisión electrónica internacional (IEC).

- **Medición de Ruido residual:** Para determinar el ruido de fondo, se obtiene un valor que caracteriza al sector, considerando todas las actividades que pueden tener influencia sobre el sector, como pueden ser actividades antrópicas, vías de circulación vehicular, actividades industriales del sector y el ruido propio de la biodiversidad existente en el área evaluada.
- **Límites de norma aplicables:** Para establecer los posibles límites de norma aplicables para cada sector y punto que fue evaluado, de acuerdo con la inspección de los técnicos en campo y la observación de las actividades que se realizan en cada área, se procedió a establecer el posible Uso de Suelo aplicable en el sector evaluado; el cual, se contrastó con información de cartas geográficas, además de la observación en campo donde se determinó el principal uso del suelo, de acuerdo con el medio donde el punto de evaluación ha sido localizado.

La medición se realizó en horario diurno y nocturno; excepto en dos puntos en donde, por cuestiones de seguridad del personal y los equipos, no fue posible acceder en la noche.

Tabla 8-1-18. Límites máximos permisibles: AM 097 A.

Uso de suelo	LKeq (dB)	
	Período Diurno 07:01 hasta 21:00 horas	Período Nocturno 21:01 hasta 07:00 horas
Residencial (RI)	55	45
Equipamiento de Servicios Sociales (EQ1)	55	45
Equipamiento de Servicios Públicos (EQ2)	60	50
Comercial (CM)	60	50
Agrícola Residencial (AR)	65	45
Industrial (ID1/ID2)	65	55
Industrial (ID3/ID4)	70	65
Uso Múltiple	Cuando existan usos de suelo múltiple o combinados se utilizará el LKeq más bajo de cualquiera de los usos de suelo que componen la combinación.	
Protección Ecológica (PE) Recursos Naturales (RN)	La determinación del LKeq para estos casos se lo llevará a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 4	

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA: Libro VI, Anexo 5: Niveles máximos de emisión de ruido y metodología de medición para fuentes fijas y fuentes móviles. Tabla 1: NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE RUIDO (LKeq) PARA FUENTES FIJAS DE RUIDO.

Tabla 8-1-19. Especificaciones técnicas del Equipo utilizado para medición de ruido ambiental

SONÓMETRO	
CÓDIGO	LCGEI-0091
MARCA	QUEST
SERIE	BHH040003
CALIBRACIÓN INICIAL (113,5-114,5 dB)	114,1
CALIBRACIÓN FINAL (113,5-114,5 dB)	
CALIBRADOR	
CÓDIGO	LCGEI-0091-01
MARCA	QUEST

Fuente: LABCESTTA, 2025.

En el MAPA NRO. 19, se detalla el mapa de ubicación de puntos de monitoreo de ruido.

En el ANEXO 8-1-4, se presenta los resultados del monitoreo de ruido ambiental diurno y nocturno.

Tabla 8-1-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental.

PUNTO	CÓDIGO EIA	CODIGO LABORATORIO	DESCRIPCIÓN	Coordenadas UTM Sistema WGS84	
				ESTE	NORTE
1	PCA- RA-1	AL-RPT 078-25	Cercano al Sector Ceiba Chica; PCA Vivienda cercana al área de implantación.	586337	9522345
2	RA-1	AL-RPT 079-25	Área agropecuaria; límite nor- oeste del área de implantación; vía de ingreso	586369	9521912
3	RA-2	AL-RPT 080-25	Área agropecuaria; límite nor- este del área de implantación.	587739	9521365
4	RA-3	AL-RPT 081-25	Área agropecuaria; al este del área de implementación en donde se construirá la sub estación.	587676	9519836
5	RA-4	AL-RPT 082-25	Área agropecuaria; al sur del área de implementación. PCA Infraestructura de finca. Vía interna.	586700	9519179
6	RA-5	AL-RPT 083-25	Área agropecuaria; al sur del área de implementación. PCA Infraestructura de finca.	585984	9519132
7	RA-6	AL-RPT 084-25	Área agropecuaria; al sur – oeste del área de implementación. Cerca de la ruta E25.	585540	9519458
8	PCA- RA-2	AL-RPT 085-25	Cercana al sector Catamarillo. PCA Vivienda cercana al área de implantación.	585652	9518274

Fuente: LABCESTA, 2025.

Elaborado por equipo técnico, 2025

Tabla 8-1-21. Condiciones meteorológicas de los puntos monitoreados.

PUNTO	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento	Nubosidad (octas)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Presión Barométrica (mmHg)	Lluvias
1	1,3	SO	5/8	28	68	710	Ausencia
2	1,1	SO	5/8	28	68	710	Ausencia
3	1	SO	5/8	28	68	710	Ausencia
4	0,9	SE	5/8	28	68	710	Ausencia
5	1,1	SO	5/8	28	68	710	Ausencia
6	1	SE	5/8	28	68	710	Ausencia
7	1	SE	5/8	28	68	710	Ausencia
8	1,1	SE	5/8	28	68	710	Ausencia

Fuente: Camacho & Cifuentes, 2023.

8.1.1.4. Resultados

Tabla 8-1-22. Resultados de monitoreo de ruido.

ID	Punto de muestreo		17N_X	17N_Y	Elevación (msnm)	Fecha de muestreo	Lugar de referencia	Periodo diurno			Periodo nocturno		
	Código EIA	Código Laboratorio						LAeq,tp [dB(A)]	LCeq,tp [dB(A)]	LAeq,tp [dB(A)]	LAeq,tp [dB(A)]	LCeq,tp [dB(A)]	LAeq,tp [dB(A)]
1	PCA - RA-1	AL-RPT 078- 25/AL-RPT 086-25	586337	9522345	225	24/6/2025	Cercano al Sector Ceiba Chica	43,2	47,1	45,1	41,1	45	42,8
2	RA-1	AL-RPT 079- 25/AL-RPT 087-25	586369	9521912	238	24/6/2025	La Ceiba. Punto 1.	40,3	44,2	43,3	40	44,2	43,3
3	RA-2	AL-RPT 080- 25	587739	9521365	2016	24/6/2025	La Ceiba. Punto 2.	40,6	46	45	NA	NA	NA
4	RA-3	AL-RPT 081- 25	587676	9519836	219	24/6/2025	La Ceiba. Punto 3.	41,9	47,3	45,3	NA	NA	NA
5	RA-4	AL-RPT 082- 25/AL-RPT 088-25	586700	9519179	220	24/6/2025	La Ceiba. Punto 4.	40,2	46,9	44	39,8	46	43,8
6	RA-5	AL-RPT 083- 25/AL-RPT 089-25	585984	9519132	230	24/6/2025	La Ceiba. Punto 5	40,3	45,6	44,5	40,9	47,1	45,1
7	RA-6	AL-RPT 084- 25/AL-RPT 090-25	585540	9519458	243	24/6/2025	La Ceiba. Punto 6	42,2	47,3	45,2	39	44,8	40,8
8	PCA - RA-2	AL-RPT 085- 25/AL-RPT 091-25	585652	9518274	220	25/6/2025	Cercana al sector Catamaillo.	46	50,9	48,8	43	49	45,9

Fuente: LABCESTTA, 2025.

Elaborado por equipo técnico, 2025

*La columna Valor Limite Permissible está fuera del alcance de acreditación del SAE; contempla los límites máximos permisibles indicados en el A.M. 097-A, Ed. Especial 387, Anexo 5. Tabla 1. Niveles máximos de ruido para fuentes fijas de ruido uso de suelo (Agrícola Residencial (AR)).

- **Interpretación**

Según el TULSMA (Libro VI, Anexo 5, Tabla 1), las fuentes fijas de ruido ubicadas en áreas de uso de suelo Agrícola-Residencial (AR) no deben exceder los niveles de presión sonora continua equivalente (L_{Aeq}) de 65 dB(A) durante el horario diurno (07:01 – 21:00) y de 45 dB(A) durante el horario nocturno (21:01 – 07:00).

Durante el período diurno, todos los puntos de muestreo — incluyendo los identificados como PCA (Puntos Críticos de Afectación) y zonas sensibles— presentaron niveles de L_{Aeq,tp} entre 40,2 y 46,0 dB(A). Estos valores se encuentran significativamente por debajo del límite de 65 dB(A) establecido para zonas AR, lo que indica una línea base acústica diurna que cumple ampliamente con la normativa vigente.

En el periodo nocturno, los niveles de L_{Aeq,tp} registrados oscilan entre 39,0 y 43,0 dB(A). Si bien la mayoría de los puntos mantienen valores por debajo del límite de 45 dB(A), se observa que no hay excedentes normativos, incluso en los puntos que fueron ligeramente superiores al límite de 40 dB(A) que aplica para zonas residenciales (R1). Dado que el uso de suelo de referencia es Agrícola-Residencial (AR), el umbral nocturno permitido es más flexible (45 dB), lo cual implica que todos los puntos alcanzan conformidad normativa incluso en horario nocturno.

La medición de ruido ambiental de línea base en el área del proyecto muestra que los niveles sonoros registrados, tanto diurnos como nocturnos, están dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A para zonas Agrícola-Residenciales (AR). Esto significa que, en su estado actual, el ambiente acústico no presenta niveles de presión sonora que pongan en riesgo la calidad de vida o el bienestar de las comunidades receptoras.

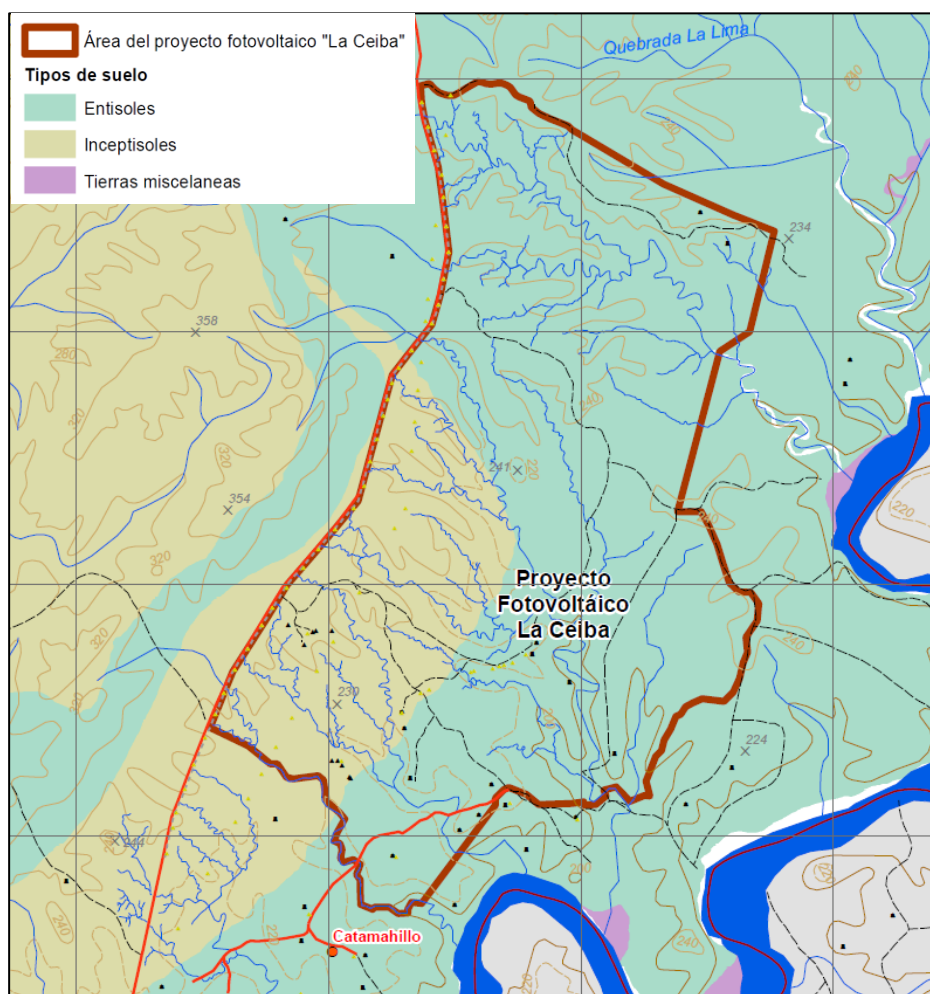
8.1.9. Edafología.

En el área del Proyecto Fotovoltaico “La Ceiba”, se identifican principalmente dos grupos de suelos pertenecientes a los órdenes Entisoles e Inceptisoles, con dominios de subórdenes Orthents y Ustepts. Los Entisoles, particularmente los *Aridic Lithic Ustorthents*, son suelos jóvenes con escaso desarrollo de horizontes, comúnmente presentes en pendientes pronunciadas, con textura franco-arenosa y drenaje rápido, lo cual limita su uso agrícola intensivo (Soil Survey Staff, 2014). Estos suelos representan la mayor superficie del proyecto, con aproximadamente 208 ha (51,8%).

Los *Aridic Lithic Haplustepts*, pertenecientes al orden Inceptisoles, cubren alrededor de 100 ha (25,1%). Estos suelos presentan un desarrollo edáfico incipiente, mayor profundidad que los Entisoles y una textura arcillo-limosa. Poseen una fertilidad media y mejor capacidad de retención de humedad, lo que los hace más aptos para cultivos adaptados a zonas semiáridas (Brady & Weil, 2017).

En el MAPA NRO: 21, se presenta el mapa de tipo de suelos del área del proyecto.

Figura 8-1-30. Mapa de Tipo de suelo del área del proyecto.



Nota: IGM, 2024. Elaborado por equipo técnico, 2026

La mayoría de estos suelos presentan limitaciones por su poca profundidad, pedregosidad y alta susceptibilidad a la erosión, factores importantes a considerar para el diseño de obras de cimentación, sistemas de drenaje y revegetación en proyectos de infraestructura (Eswaran et al., 2001).

Este predominio de Entisoles refleja condiciones de edafogénesis incipiente, procesos de remoción de masa y escasa capacidad agrícola sin intervención. Lo anterior se alinea con el uso propuesto del suelo para generación fotovoltaica, donde las restricciones edáficas son menos críticas (Eswaran et al., 2001).

Tabla 8-1-23. Capacidad del uso del suelo

Tipo de suelo (taxonomía)	Profundidad	Pendiente	Textura	Limitaciones	Clase CUS	Capacidad de uso
Aridic Lithic Ustorthents	Muy baja	Media – alta	Franco-arenosa	Poco desarrollo, pedregosidad, erosión	Clase VIIe	Muy limitado para uso agrícola; solo conservación
Aridic Ustorthents	Baja media	– Media	Franco-arenosa	Erosión moderada, escasa fertilidad	Clase VIe	Pastos naturales y revegetación
Aridic Lithic Haplustepts	Media	Suave – media	Franco-limosa	Limitaciones por fertilidad y profundidad	Clase VI	Moderadamente apto para revegetación controlada
Vertisoles (Usterts, arcillosos)	Alta	Suave	Arcillosa	Expansividad, manejo especial	Clase IVs	Uso restringido bajo manejo especializado

Elaboración: Equipo consultor, 2025.

Criterios utilizados (MAGAP, 2014; USDA-NRCS, 2010):

- **Clases I–IV:** aptos para agricultura bajo diferentes niveles de manejo.
- **Clases V–VI:** restringidos para cultivos, aptos para pastos, forestación o conservación.
- **Clases VII–VIII:** no aptos para cultivo ni pastoreo; destinados a conservación o vida silvestre.

Más del 74% del área (Ustorthents + Lithic Ustorthents) pertenece a Clases VI–VII, con aptitud limitada a conservación de cobertura vegetal y control de erosión. Solo una fracción menor (Vertisoles y algunos Inceptisoles) podría tener uso silvopastoril o restaurativo bajo manejo especializado. Esto refuerza la idoneidad de uso no agrícola del suelo para actividades como generación fotovoltaica, minimizando conflictos por uso de suelo con vocación agrícola o forestal (FAO, 2006).

8.1.9.1. Análisis del suelo desde el punto de vista edafológico

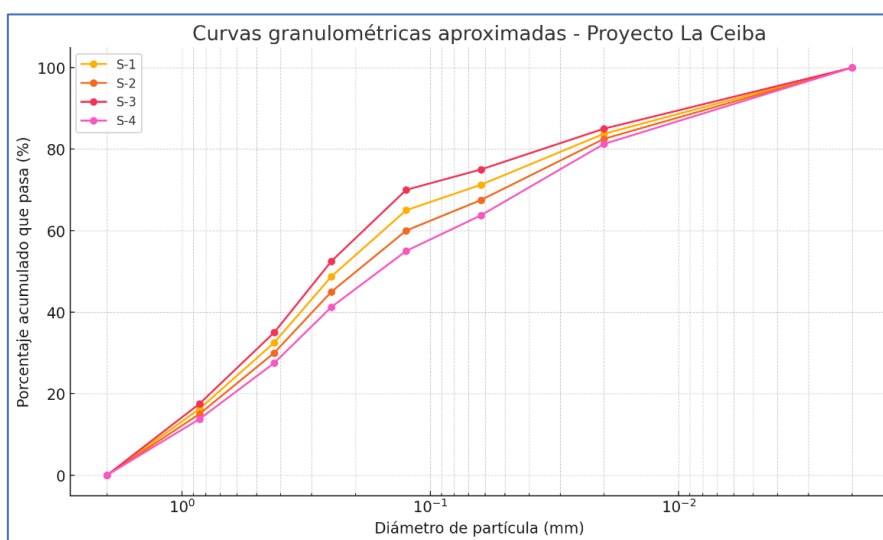
Se analizaron cuatro muestras de suelos en distintos puntos del proyecto (S-1 a S-4), cuyos resultados fueron consistentes entre sí y dentro de los límites permisibles establecidos por la Tabla 1 del Anexo 2 del TULSMA (AM 097-A):

- **pH:** Oscila entre 7,56 y 7,70, valores ligeramente alcalinos que favorecen la estabilidad química de los suelos (FAO, 2006).
- **Conductividad eléctrica:** De 86,6 a 183,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando baja salinidad y ausencia de riesgo para vegetación nativa o procesos constructivos (USDA, 2014).
- **Metales pesados (Cd, Pb, Cr, V):** Todos están por debajo de los límites establecidos. El plomo (<10 mg/kg) y cadmio (<0,25 mg/kg) están muy por debajo del límite permisible (19 y 0,5 mg/kg respectivamente), lo que indica ausencia de contaminación antrópica (TULSMA, 2015).

- **Hidrocarburos totales del petróleo:** Todos los valores están <76 mg/kg, muy por debajo del umbral de 150 mg/kg. No hay indicios de pasivos contaminantes previos.
- **Compuestos organoclorados y mercurio:** No detectables en ninguna de las muestras ($<0,001$ y $<0,05$ mg/kg).

Estos resultados permiten concluir que los suelos del área del Proyecto La Ceiba no presentan riesgos ambientales significativos por contaminación y cumplen condiciones aptas para obras de implantación de infraestructura energética sin requerir remediación previa.

Figura 8-1-31. Curvas granulométricas del proyecto fotovoltaico.



Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

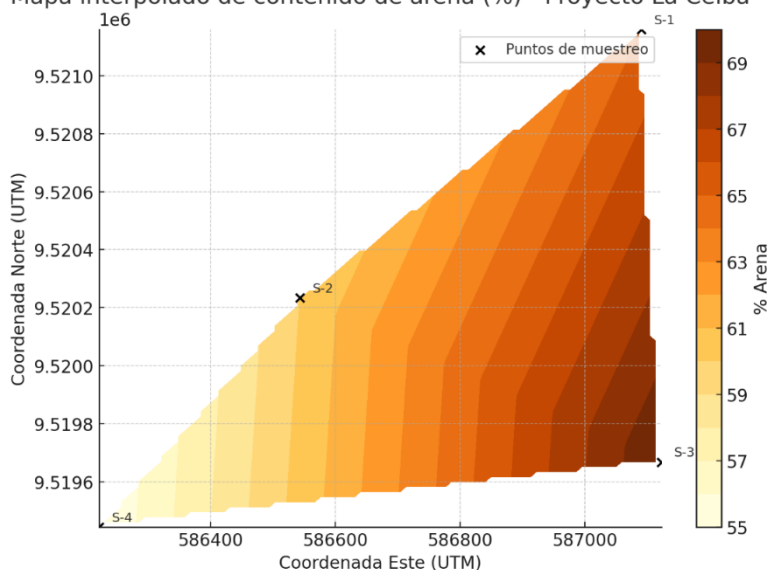
La gráfica muestra las curvas granulométricas aproximadas en base a los resultados obtenidos de cuatro muestras del Proyecto La Ceiba (CGA, 2025). Todas presentan un dominio de fracción arena (55–70%), seguida de limo (20–35%) y una proporción constante de arcilla (10%). Estas curvas reflejan un suelo de textura franco-arenosa a franca, típico de zonas semiáridas.

Desde el punto de vista edafológico:

- Las curvas empinadas en el tramo de arena indican distribución uniforme de granos gruesos, favoreciendo el drenaje rápido.
- La escasa cantidad de arcilla sugiere baja retención de humedad y escasa plasticidad, lo cual puede limitar la capacidad de compactación estructural (Brady & Weil, 2017).
- Esta textura es favorable para cimentaciones de estructuras livianas como paneles solares, pero debe controlarse la erosión superficial (FAO, 2006).

Figura 8-1-32. Mapa interpolado de porcentaje de contenido de arena en el proyecto

Mapa interpolado de contenido de arena (%) - Proyecto La Ceiba



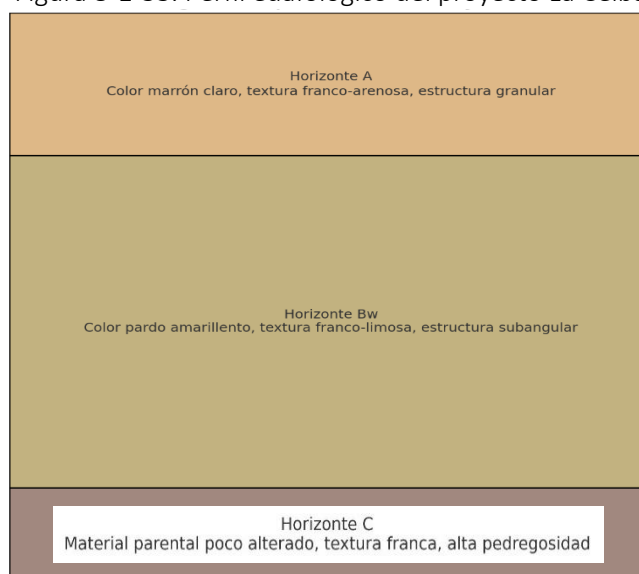
Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

La Figura representa la distribución espacial del contenido de arena (%) en los suelos del Proyecto La Ceiba, basado en los puntos muestreados (S-1 a S-4). Se observa un gradiente arenoso más alto hacia el noreste (hasta 70%) y más bajo al suroeste (55%), lo cual sugiere variabilidad textural asociada a procesos coluvio-aluviales y posición geomorfológica.

Este tipo de análisis permite:

- Identificar sectores con mejor drenaje natural o mayor susceptibilidad a erosión.
- Planificar la distribución de estructuras o zonas de revegetación según el comportamiento textural del suelo (FAO, 2006).
- Evaluar la necesidad de obras de estabilización o cobertura vegetal en áreas de suelos más sueltos.

Figura 8-1-33. Perfil edafológico del proyecto La Ceiba



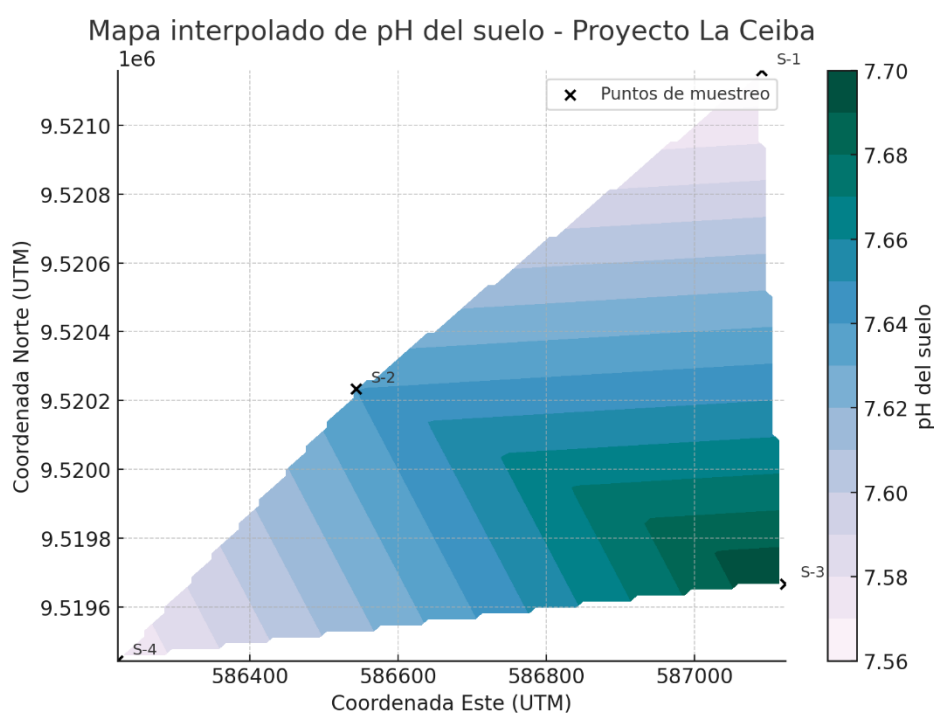
Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

El esquema representa un perfil edafológico típico para el área del Proyecto La Ceiba, con tres horizontes claramente diferenciados:

- **Horizonte A (0–15 cm):** De color marrón claro, textura franco-arenosa, con buena aireación y actividad biológica. Es el horizonte superficial con mayor contenido orgánico (Brady & Weil, 2017).
- **Horizonte Bw (15–35 cm):** Horizonte subsuperficial de color pardo amarillento, textura franco-limosa, con desarrollo incipiente de estructura. Marca el inicio de procesos de alteración edáfica (FAO, 2006).
- **Horizonte C (35–50 cm o más):** Constituido por el material parental coluvio-aluvial, poco alterado, con textura franca y alta pedregosidad. Este horizonte limita la profundidad efectiva radicular.

Este perfil es representativo de **Entisoles e Inceptisoles** con escaso desarrollo pedogenético, típicos de ambientes semiáridos y laderas del sur de Loja.

Figura 8-1-34. Interpolación del parámetro pH en el área del proyecto.

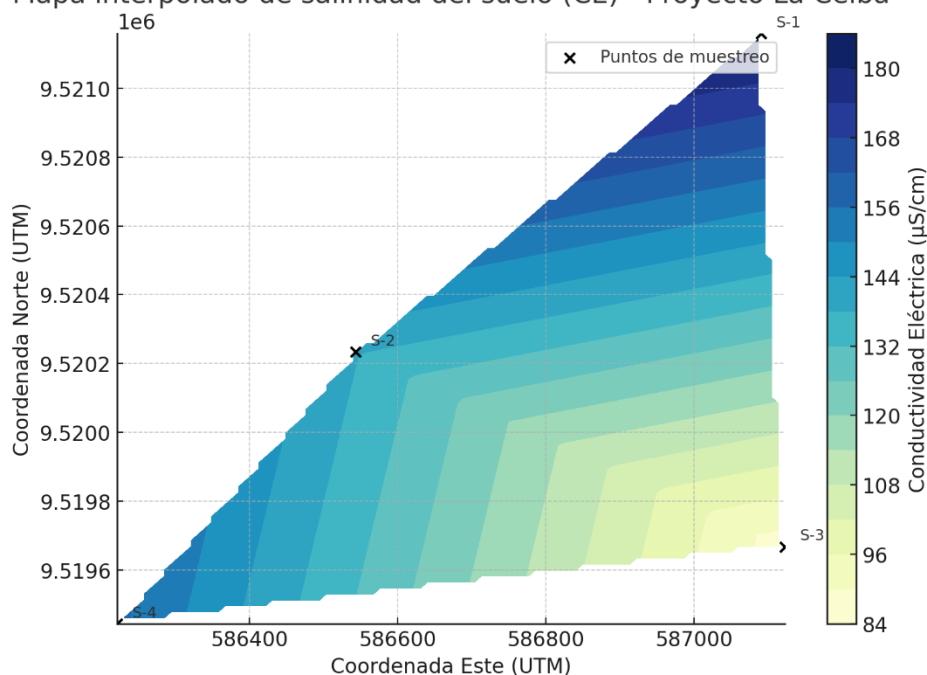


Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

El mapa interpolado muestra la distribución espacial del pH del suelo en el Proyecto La Ceiba. Los valores oscilan entre 7,56 y 7,70, lo que indica un suelo ligeramente alcalino en toda el área. Esta condición favorece la estabilidad química de nutrientes como calcio y magnesio, pero puede limitar la disponibilidad de micronutrientes como hierro o zinc en algunas especies vegetales (Brady & Weil, 2017). La uniformidad del pH sugiere condiciones edafogenéticas homogéneas, probablemente asociadas a la litología de base coluvio-aluvial y a la escasa intervención antrópica.

Figura 8-1-35. Representación de la salinidad del suelo en el área del proyecto.

Mapa interpolado de salinidad del suelo (CE) - Proyecto La Ceiba



Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

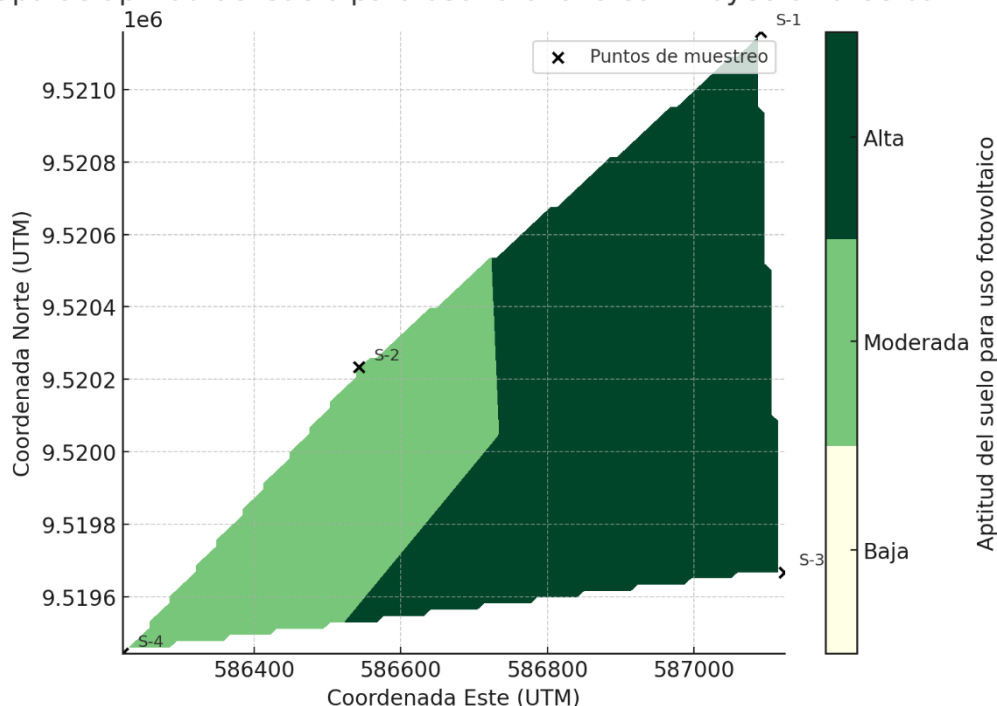
El mapa interpolado muestra la distribución espacial de la conductividad eléctrica (CE) del suelo, indicador indirecto de salinidad. Los valores varían entre 86,6 y 183,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muy por debajo del umbral de salinidad leve ($>2 \text{ dS}/\text{m}$ o $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ según USDA, 2014), indicando condiciones no salinas en toda el área del Proyecto La Ceiba.

Esta condición:

- Favorece el establecimiento de coberturas vegetales para control de erosión.
- Reduce riesgos de corrosión en estructuras metálicas superficiales.
- Confirma la idoneidad del suelo para actividades de implantación energética sin restricciones por salinidad (FAO, 2006).

Figura 8-1-36. Aptitud del suelo para uso fotovoltaico

Mapa de aptitud del suelo para uso fotovoltaico - Proyecto La Ceiba



Nota: Elaborado por equipo técnico, 2025

Determinar la aptitud del suelo del área del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba para la instalación de infraestructura energética (paneles, caminos, subestaciones), considerando propiedades físico-químicas del suelo que influyen en la estabilidad estructural y riesgo edafológico.

En el MAPA NRO. 21 se presenta el mapa geopedológico del proyecto.

El mapa de aptitud del suelo para uso fotovoltaico muestra tres clases categorizadas espacialmente:

- Alta aptitud: Áreas con bajo contenido salino ($CE < 200 \mu S/cm$), pH neutro (6–8) y alto contenido de arena (>60%), ideales para cimentación, drenaje y mínima interferencia edáfica.
- Moderada aptitud: Cumplen con CE y pH adecuados, pero con textura más fina o menor aireación.
- Baja aptitud: No se detectan en este caso, ya que ningún punto presenta condiciones restrictivas.

Este análisis permite optimizar la ubicación de estructuras dentro del polígono, evitando zonas con restricciones edáficas y facilitando decisiones de ingeniería y manejo del terreno (MAGAP, 2014; FAO, 2006).

8.1.1.5. Calidad del suelo.

- **Metodología.**

Como parte del “Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para Construcción, Operación, Mantenimiento y cierre del Proyecto Fotovoltaico La Ceiba”, la empresa consultora a cargo del proyecto, ha contratado los servicios técnicos especializados del laboratorio *LABCESSTTA* acreditado el Servicio de Acreditación del Ecuador SAE, para efectuar el análisis y la caracterización de Calidad del Suelo, como línea base o valor de fondo (es decir, caracterización de la calidad del suelo existente, antes de la operación del proyecto en el sector).

Se ha efectuado el monitoreo ambiental de la calidad del suelo en el sitio del proyecto, Zona de uso agrícola y agropecuario, a fin de determinar las características y concentración de elementos en la composición del suelo de la zona de influencia directa, bajo las condiciones actuales, como línea base o nivel de referencia, antes de ser intervenida para la construcción y posterior operación del proyecto; esta caracterización será la base para comparar en evaluaciones posteriores durante las actividades de construcción y actividades cotidianas que se realizaran en esta área, para la operación del proyecto.

Se ha determinado los puntos de monitoreo, considerando el área de influencia directa de construcción y desarrollo del proyecto y las actividades que se llevara a cabo; en base a los puntos definidos se procedió al muestreo de Suelos, bajo las condiciones endémicas del sector, donde dependiendo de su ubicación, existen o no actividades humanas que han modificado el medio y que tienen influencia en los resultados obtenidos. Con los resultados de concentración que se obtengan, se va a establecer la línea base del proyecto en lo referente a la calidad del suelo. Esta línea base va a permitir detectar y cuantificar a futuro, una vez que opere el proyecto, si este genera algún tipo de afectación a las condiciones originales del sector, y así poder tomar las medidas necesarias para disminuir este impacto.

También se realiza el análisis del cumplimiento de los parámetros monitoreados comparados con los valores de la normativa ambiental establecida en el Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Se ha efectuado esta evaluación ambiental como herramienta de análisis para el control ambiental que el Ministerio del Ambiente efectúa, considerando las exigencias de las normativas ambientales aplicables en el Ecuador, como es el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), revisado en el acuerdo 097 A del 4 de noviembre del 2015. El trabajo efectuado, se enmarca en lineamientos y políticas establecidas por la Empresa, procedimientos técnicos internos del Laboratorio LABCESSTTA, metodologías validadas por organismos internacionales (EPA, Standard Methods, APHA, EN) y en sistemáticas especificadas en la legislación ambiental nacional (AM 097 A).

El informe técnico que se presenta, corresponde al muestreo y análisis de suelos en el área de influencia directa, donde se va a desarrollar la Construcción y Operación del Proyecto Fotovoltaico, que incluye:

- Muestreo de suelos a través de tres diferentes profundidades, en diferentes del sitio de muestreo, para obtención de una muestra compuesta definitiva de control de la calidad del suelo.
- Análisis físico-químico de la muestra compuesta e interpretación de resultados.

El monitoreo fue compuesto en las áreas de suelos que se han determinado para el análisis; se efectuó la toma de muestras en envases, los cuales se sellaron totalmente y etiquetaron luego de obtener cada una de las muestras compuestas de cada uno de los puntos del estudio. Para la toma de la muestra en el sitio seleccionado, se tomaron alícuotas a diferentes profundidades y distancias del punto seleccionado para su control; para este caso, en cada punto se tomaron muestras que son representativas y en forma simple y puntual, se ha efectuado una excavación de 30 m.

Se realizó el Monitoreo, en los siguientes puntos:

Tabla 8-1-24. Coordenadas de los puntos de muestreo en el área del parque fotovoltaico (2025).

ID	Cod-EIA	Codigo-Laboratorio	17S_X	17S_Y	Elevación (msnm)	Fecha de muestreo	Lugar de referencia
1	S-1	AL-SPT-012-25	587091	9521159	228	24/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 1.
2	S-2	AL-SPT-013-25	586543	9520234	240	24/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 2.
3	S-3	AL-SPT-014-25	587123	9519668	216	24/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 3.
4	S-4	AL-SPT-015-25	586221	9519444	226	24/6/2025	La Ceiba. Cantón Zapotillo. Punto 4.

Elaborado por equipo técnico, 2025.

En el MAPA NRO. 20, se detalla el mapa de ubicación de puntos de monitoreo de suelo.

En el ANEXO 8-1-5. se presenta los resultados del monitoreo de calidad del suelo del proyecto.

- Resultados

Tabla 8-1-25. Resultados muestreo de suelos

I D	Co d- EIA	Codigo- Laboratorio	Estado de la muestra	Tipo de muestra	Conductividad Eléctrica μS/cm	Mercuri o mg/Kg	Hidrocarb uros Totales de petróleo g/Kg	Índic e RAS	Potencial Hidrógen o pH	Organocl orados Totales mg/Kg	Cadmi o mg/Kg	Cromo mg/Kg	Plomo mg/Kg	Vanadio mg/Kg	Cumplimiento
1	S-1	AL-SPT-012- 25	Bajo criterio	Compuesta	183,1	<0,001	<76	0,19	7,56	<0,05	<0,25	<50	<10	<0,5	Bajo criterio
2	S-2	AL-SPT-013- 25	Bajo criterio	Compuesta	138,4	<0,001	<76	0,16	7,64	<0,05	<0,25	<50	<10	<0,5	Bajo criterio
3	S-3	AL-SPT-014- 25	Bajo criterio	Compuesta	86,6	<0,001	<76	0,18	7,7	<0,05	<0,25	<50	<10	<0,5	Bajo criterio
4	S-4	AL-SPT-015- 25	Bajo criterio	Compuesta	157,2	<0,001	<76	0,2	7,57	<0,05	<0,25	<50	<10	<0,5	Bajo criterio

Fuente: LABCESTTA, 2025.

Elaborado por equipo técnico, 2025

- **Interpretación**

Se analizaron cuatro muestras compuestas (S-1 a S-4) correspondientes al área de influencia del proyecto, evaluando parámetros clave como conductividad eléctrica, pH, índice RAS, metales pesados (mercurio, cadmio, cromo, plomo, vanadio), hidrocarburos totales (TPH) e organoclorados. Todos los ensayos se clasificaron como “bajo criterio”, lo que indica que no se detectaron excedencias frente a los límites normativos especificados.

La conductividad eléctrica, con valores entre 86,6 y 183,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se encuentra muy por debajo del umbral permisible para salinidad del suelo (aproximadamente 2 mmhos/cm o 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El pH registrado —entre 7,56 y 7,70— se encuentra dentro del rango óptimo (6-8), favorable para cultivos y procesos biológicos del suelo. El índice RAS, entre 0,16 y 0,20, es significativamente inferior al máximo aceptable de 4, lo que indica baja sodificación y buena aptitud agrícola.

Con respecto a los metales pesados, todos los valores quedaron por debajo de los límites normativos: mercurio $< 0,001 \text{ mg/kg}$ ($\leq 0,1 \text{ mg/kg}$), cadmio $< 0,25 \text{ mg/kg}$ ($\leq 0,5 \text{ mg/kg}$), cromo $< 50 \text{ mg/kg}$ ($\leq 90 \text{ mg/kg}$ para uso industrial, aunque el límite agrícola es $\leq 20 \text{ mg/kg}$), plomo $< 10 \text{ mg/kg}$ ($\leq 25 \text{ mg/kg}$) y vanadio $< 0,5 \text{ mg/kg}$ ($\leq 25 \text{ mg/kg}$).

En cuanto a los compuestos orgánicos, los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) se reportaron como $< 76 \text{ g/kg}$ lo que es un valor muy bajo en relación a los criterios de la normativa para suelos contaminados. El organoclorado total fue $< 0,05 \text{ mg/kg}$, muy por debajo del límite permisible de $\leq 0,5 \text{ mg/kg}$.

8.1.10. Conclusiones

- El análisis climático integral evidencia que el área del proyecto fotovoltaico La Ceiba presenta condiciones homogéneas y óptimas para la instalación y operación de una planta solar, con alta temperatura constante (24–26 °C), baja precipitación anual (500–750 mm) y un clima subhúmedo megatérmico en el 100% del polígono. Estas condiciones minimizan pérdidas energéticas y riesgos operativos asociados al clima, garantizando una alta disponibilidad solar anual y sostenibilidad operativa del proyecto.
- En síntesis, el cantón Zapotillo exhibe un clima cálido semiárido caracterizado por temperaturas altas todo el año (media $\sim 26^\circ\text{C}$) y lluvias muy escasas concentradas en un corto invierno austral. La prolongada sequía estacional (8-9 meses) y la elevada evaporación definen un balance hídrico negativo, clasificando la zona como árida (Lang, 1920). La humedad relativa promedio ($\sim 77\%$) se considera moderada, con ambiente más húmedo sólo durante las breves lluvias. Los vientos SW de baja intensidad y el alto brillo solar ($> 5 \text{ h}$ diarias) completan este perfil climático. Estas variables, respaldadas por datos de las estaciones Zapotillo M151 y Saucillo M437, proporcionan información clave para el diseño de infraestructuras en el cantón —por ejemplo, la disponibilidad de agua es el factor limitante para la agricultura, mientras que la abundante radiación solar y calor son factores críticos para proyectos de energía fotovoltaica (Villamarín, 2019). En todos los casos, es fundamental considerar adaptaciones a la variabilidad climática: eventos

extremos como sequías prolongadas o lluvias anómalas durante El Niño pueden alterar significativamente las medias históricas. No obstante, con base en los registros 1990-2020, la tendencia general sugiere un clima persistentemente cálido y seco, propio del Bosque Seco Tropical de la región Tumbesina (Espinosa et al., 2018), cuya preservación y manejo sostenible revisten gran importancia.

- El período 2010–2024 ha estado marcado por sequías intensas, temperaturas elevadas persistentes y una altísima variabilidad interanual de lluvias. Estas condiciones reafirman el carácter semiárido y cálido del cantón Zapotillo. Para el proyecto fotovoltaico La Ceiba, estas condiciones resultan técnicamente óptimas para captación solar, aunque requieren prevención frente a eventos extremos, como olas de calor y lluvias concentradas (Eliasson et al., 2020; Villamarín, 2024).
- El área del proyecto La Ceiba presenta condiciones óptimas para generación solar: clima seco, radiación elevada y alta heliofanía. La variabilidad interanual exige considerar medidas de adaptación climática para mitigar efectos de eventos extremos.

8.1.11. Recomendaciones

- Es importante conservar las zonas de infiltración natural para no afectar la recarga de acuíferos locales. Las cimentaciones deben considerar posibles variaciones de humedad en suelos coluviales y areniscas; evitar cortes profundos en lutitas que puedan desestabilizarse. Se recomienda implementar sistemas de drenaje superficial para controlar escorrentía y evitar erosión. En caso de obras de perforación (p.ej., pilotes), se sugiere monitorear niveles freáticos locales.
- Diseñar plataformas y corredores con pendientes seguras (<20%) para disminuir la erosión y riesgo de deslizamientos. Implementar bermas o terrazas intermedias en pendientes pronunciadas y revegetar con especies nativas de raíces profundas (IIGE, 2017). Evitar cortes abruptos sin contención ni cobertura vegetal. Construir drenajes transversales y longitudinales (canales revestidos, zanjales de infiltración) para conducir aguas pluviales hacia zonas seguras, evitando su concentración en laderas.
- Preservar los cauces temporales existentes y los conos de deyección; si se excavan, dotarlos de defensas sedimentarias o sumideros para retener sedimentos. Establecer barreras vivas (ajardinamiento con palizadas, geotextiles biodegradables) en zonas expuestas durante la construcción. Controlar el tránsito de maquinaria para evitar compactación y erosión adicional.
- Mantener cobertura vegetal natural junto a las quebradas para reducir erosión y filtrar sedimentos. Establecer franjas de amortiguamiento acorde al PUGS, tal como demanda la gestión responsable del recurso hídrico. Diseñar y construir canales de drenaje pluvial o zanjales revestidos que capten aguas de lluvia, evitando la formación de arroyos improvisados. Incluir trampas de sedimentos o biofiltros en puntos críticos para evitar el arrastre excesivo de suelo y contaminantes hacia las quebradas.

- Establecer puntos de muestreo de aguas superficiales dentro y fuera del área de proyecto. Analizar regularmente parámetros mínimos como pH, turbidez, conductividad eléctrica y nutrientes, comparando con límites normativos para detectar tendencias de deterioro.
- Asegurar que cualquier vertido o uso de agua en la obra cumpla con el COA y su Reglamento y normas ambientales ecuatorianas. Considerar las recomendaciones de planes hidrográficos, que enfatizan un enfoque integrado de conservación y uso sostenible de recursos hídricos. Esto incluye coordinar con autoridades locales y Juntas de Agua para la gestión adecuada de la cuenca Catamayo–Chira a largo plazo.