



TGI
Grupo Energía Bogotá

AMBIENTAL

**CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE
INFLUENCIA DEL PROYECTO-MEDIO
ABIÓTICO**

3.2.9 ATMÓSFERA

TABLA DE CONTENIDO

3.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	1
3.2	Medio Abiótico	1
3.2.9	Atmósfera	1
3.2.9.1	Clima.....	1
3.2.9.1.1	Temperatura	3
3.2.9.1.2	Presión atmosférica.....	4
3.2.9.1.3	Precipitación: media mensual y anual.....	5
3.2.9.1.3.1	Procesamiento de información.....	5
3.2.9.1.3.2	Llenado de datos	15
3.2.9.1.4	Humedad relativa: media, máximas y mínimas mensuales.....	28
3.2.9.1.5	Velocidad y dirección del viento	30
3.2.9.1.6	Radiación solar.....	40
3.2.9.1.7	Evapotranspiración.....	41
3.2.9.1.7.1	Evapotranspiración Potencial (ETP)	41
3.2.9.1.7.2	Evapotranspiración real (ETr)	42
3.2.9.1.8	Nubosidad	43
3.2.9.1.9	Clasificación climática	45
	• Clasificación Climática según Caldas-Lang	45
3.2.9.1.9.1	Balace Hídrico	47
3.2.9.2	Calidad del Aire	50
3.2.9.2.1	Inventario de emisiones	50
3.2.9.2.1.1	Fuentes Lineales y Móviles en el área de influencia	52
3.2.9.2.1.2	Fuentes Fijas en el área de influencia	52
3.2.9.2.2	Potenciales receptores	52
3.2.9.2.3	Monitoreo de calidad de aire	54
3.2.9.2.3.1	Condiciones Meteorológicas	54
3.2.9.2.3.2	Condiciones del Monitoreo.....	61
	• Ubicación.....	62
	• Especificaciones del Monitoreo.....	66
3.2.9.2.3.3	Resultados y Análisis	68
3.2.9.3	Ruido Ambiental	92
3.2.9.3.1	Fuentes generadores de ruido	93
3.2.9.3.2	Potenciales receptores	93
3.2.9.3.3	Monitoreos de ruido.....	94
3.2.9.3.3.1	Localización puntos de monitoreo.....	95
3.2.9.3.3.2	Resultados y análisis.....	98
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	I
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

LISTADO DE FIGURAS

Figura 3-1 Estaciones Meteorológicas	2
Figura 3-2 Distribución de Temperaturas	4
Figura 3-3 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Arauca	7
Figura 3-4 Relación entre los saltos de la estación Arauca y el ONI	7
Figura 3-5 Corrección automática homogeneidad estación Arauca	8
Figura 3-6 Corrección de la homogeneidad estación Arauca	9
Figura 3-7 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación La Esperanza	9
Figura 3-8 Relación entre los saltos de la estación La Esperanza y el ONI	10
Figura 3-9 Corrección de la homogeneidad estación La Esperanza	11
Figura 3-10 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Recuerdo	12
Figura 3-11 Relación entre los saltos de la estación Recuerdo y el ONI	12
Figura 3-12 Corrección de la homogeneidad estación El Recuerdo	13
Figura 3-13 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Termales	13
Figura 3-14 Relación entre los saltos de la estación Termales y el ONI	14
Figura 3-15 Ajuste por medias y mapeo de cuantiles estación Termales	15
Figura 3-16 Corrección de la homogeneidad estación Termales	15
Figura 3-17 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación Arauca	23
Figura 3-18 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación La Esperanza	23
Figura 3-19 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación Termales	24
Figura 3-20 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación El Recuerdo	24
Figura 3-21 Precipitación total anual para el periodo 2000 - 2023	25
Figura 3-22 Disitribución de Precipitaciones medias e Isoyetas Enero a Junio	26
Figura 3-23 Disitribución de Precipitaciones medias e Isoyetas Julio a Diciembre	27
Figura 3-24 Disitribución precipitación promedio Multianual	28
Figura 3-25 Humedad Relativa vs Lluvia Estación 2615502 Cenicafé – Chinchiná, Caldas	30
Figura 3-26 Rosa de vientos anual	33
Figura 3-27 Rosa de vientos mes de enero	34
Figura 3-28 Rosa de vientos mes de febrero	34
Figura 3-29 Rosa de vientos mes de marzo	35
Figura 3-30 Rosa de vientos mes de abril	35
Figura 3-31 Rosa de vientos mes de mayo	36
Figura 3-32 Rosa de vientos mes de junio	36
Figura 3-33 Rosa de vientos mes de julio	37
Figura 3-34 Rosa de vientos mes de agosto	37
Figura 3-35 Rosa de vientos mes de septiembre	38

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	II
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-36 Rosa de vientos mes de octubre	38
Figura 3-37 Rosa de vientos mes de noviembre	39
Figura 3-38 Rosa de vientos mes de diciembre.....	39
Figura 3-39 Radiación solar extraterrestre en mm/día.....	41
Figura 3-40 Nubosidad diurna para el periodo 2002 a 2023	44
Figura 3-41 Nubosidad para el año 2005.....	44
Figura 3-42 Nubosidad para el año 2017.....	45
Figura 3-43 Clasificación climática Caldas-Lang	47
Figura 3-44 Balance Hídrico Palestina.....	50
Figura 3-45 Receptores Sensibles.....	53
Figura 3-46 Gráfica de los valores diarios de temperatura	56
Figura 3-47 Gráfica de los valores diarios de precipitación	57
Figura 3-48 Gráfica de temperatura vs humedad	58
Figura 3-49 Valores diarios de presión atmosférica y velocidad del viento.....	59
Figura 3-50. Rosa de los Vientos.....	60
Figura 3-51 Gráfica distribución de frecuencias del viento	61
Figura 3-52. Puntos de monitoreo calidad del aire	66
Figura 3-53 Resultados PM ₁₀ para todas las estaciones.....	71
Figura 3-54 Diagrama de cajas para PM ₁₀	72
Figura 3-55 Histograma de frecuencias para PM ₁₀	73
Figura 3-56 Resultados de PM _{2.5} para todas las estaciones	75
Figura 3-57 Grafica de cajas para PM _{2.5}	76
Figura 3-58 Histograma de frecuencias para PM _{2.5}	77
Figura 3-59. Grafica de resultados de NO ₂ para la Estación 1 – La Merced	79
Figura 3-60. Grafica de resultados de NO ₂ para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía.....	80
Figura 3-61. Grafica de resultados de NO ₂ para la Estación 3 – La Ínsula	81
Figura 3-62. Resultados de SO ₂ para todas las estaciones	82
Figura 3-63. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 1 – La Merced.....	84
Figura 3-64. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 1 – La Merced	84
Figura 3-65. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 2 – Brisas de Santa Lucía	85
Figura 3-66. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 2 – Brisas de Santa Lucía	86
Figura 3-67. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 3 – La Ínsula	87
Figura 3-68. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 3 – La Ínsula.....	87
Figura 3-69 Índice Calidad del Aire PM ₁₀	90

Figura 3-70 Índice Calidad del Aire PM _{2.5}	90
Figura 3-71 Índice Calidad del Aire CO	91
Figura 3-72 Índice Calidad del Aire NO ₂	92
Figura 3-73 Receptores Sensibles - Ruido	94
Figura 3-74 Georreferenciación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental	97
Figura 3-75 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D.....	100
Figura 3-76 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D – Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006	102
Figura 3-77 Gráfica de ruido horario nocturno - Sector D.....	103
Figura 3-78 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D – Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006	105

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3-1 Estaciones Meteorológicas	2
Tabla 3-2 Presión Atmosférica Palestina	5
Tabla 3-3 Coeficientes regresión múltiple estimados variables precipitación	16
Tabla 3-4 Datos de Precipitación Estación Arauca (26150060)	17
Tabla 3-5 Datos de Precipitación Estación La Esperanza (26150160)	18
Tabla 3-6 Datos de Precipitación Estación Termales (26130020).....	19
Tabla 3-7 Datos de Precipitación Estación El Recuerdo (26130200).....	20
Tabla 3-8 Registros de Precipitaciones (Año 2000 a 2023)	22
Tabla 3-9 Datos dirección del viento en ° 2000 -2022	31
Tabla 3-10 Datos velocidad del viento en m/s 2000 -2022.....	32
Tabla 3-11 Cálculo de ETP y ETr.....	43
Tabla 3-12 Clases de Clima según Caldas	45
Tabla 3-13 Clases de Clima según Lang	46
Tabla 3-14 Clasificación Climática Caldas-Lang para la ECG Palestina	46
Tabla 3-15 Balance Hídrico Área de Influencia ECG.....	49
Tabla 3-16. Receptores Sensibles	52
Tabla 3-17 Información de la estación meteorológica empleada	54
Tabla 3-18 Resumen información meteorológica	55
Tabla 3-19. Predominancia de la dirección del viento	60
Tabla 3-20. Resumen de los criterios de localización.....	62
Tabla 3-21. Lista de chequeo para macro y micro localización	62
Tabla 3-22 Ubicación y características de las estaciones de monitoreo	64
Tabla 3-23. Información del Monitoreo	67

Tabla 3-24. Características de las sustancias contaminantes	67
Tabla 3-25 Niveles máximos permisibles de inmisión según la Resolución 2254 del 2017,	68
Tabla 3-26. Resultados reportados de la Estación 1 - La Merced	69
Tabla 3-27. Resultados reportados de la Estación 2 - Brisas de Santa Lucía	69
Tabla 3-28. Resultados reportados de la Estación 3 - La Ínsula	70
Tabla 3-29. Interpretación de resultados de PM ₁₀ en las estaciones	73
Tabla 3-30. Interpretación de los resultados de PM _{2.5} en las estaciones	77
Tabla 3-31. Resumen estadístico de NO ₂ para la Estación 1 – La Merced.....	78
Tabla 3-32. Resumen estadístico de NO ₂ para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía	79
Tabla 3-33. Resumen estadístico de NO ₂ para la Estación 3 – La Ínsula	80
Tabla 3-34. Resumen estadístico de CO para la Estación 1 – La Merced	83
Tabla 3-35. Resumen estadístico de CO para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía.....	85
Tabla 3-36. Resumen estadístico de CO para la Estación 3 – La Ínsula	86
Tabla 3-37. Puntos de Corte e Indicadores de Color ICA.....	89
Tabla 3-38 Receptores Sensibles - Ruido	93
Tabla 3-39 Ubicación de los puntos de monitoreo para ruido	95
Tabla 3-40. Días de monitoreo para ruido	98
Tabla 3-41. Resultados Medición de ruido ambiental horario diurno.....	99
Tabla 3-42 Resultados ruido ambiental horario diurno – Análisis Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006.....	101
Tabla 3-43 Resultados Medición de ruido ambiental horario nocturno.....	102
Tabla 3-44 Resultados ruido ambiental horario nocturno – Análisis Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006.....	104
Tabla 3-45. Corrección de ruido horario diurno	106
Tabla 3-46. Corrección de ruido horario nocturno	106
Tabla 3-47. Incertidumbre típica dB	107

LISTADO DE ANEXOS

Anexo I. HIDROLOGÍA Y CLIMA

1. Hidrología

1.1 Temperaturas

1.2 Precipitaciones

1.3 ETP y ETR

Anexo J. MONITOREOS

3. Monitoreo de Calidad del Aire

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	V
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

4. Monitoreo de Ruido Ambiental

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	VI
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

3.2 Medio Abiótico

3.2.9 Atmósfera

3.2.9.1 Clima

Conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrósfera, litosfera, criósfera, biosfera y antroposfera).

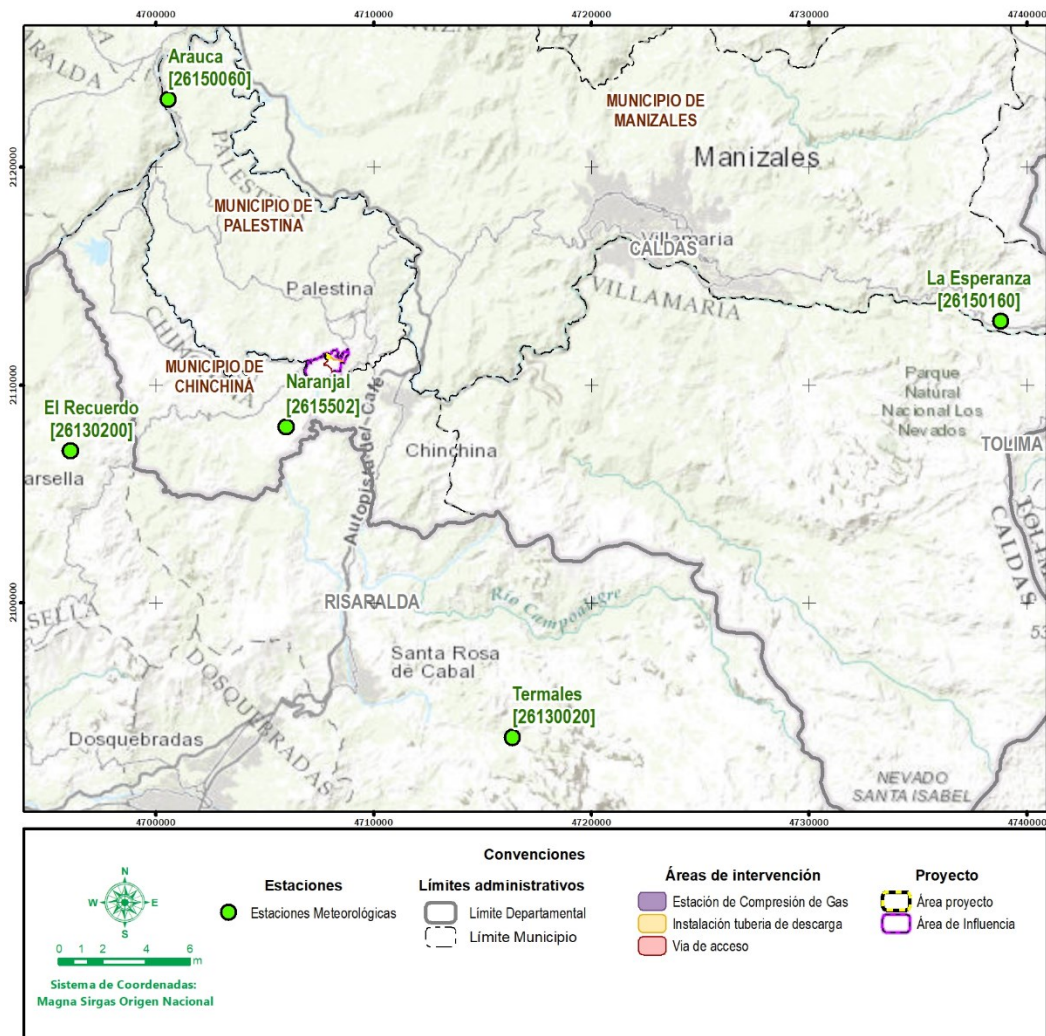
Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, este se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático (IDEAM, 2006).

Para realizar el análisis climático, se empleó información disponible en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por medio de estaciones climatológicas cercanas y representativas al área de influencia. Así mismo, se tuvo en cuenta como base de información el geoportal “*Agroclima*” de CENICAFÉ (2024) para obtener datos de brillo solar y humedad relativa de la zona de estudio. Finalmente, para obtener información sobre el comportamiento de la temperatura y velocidad-dirección del viento se consultó la base de datos de la NASA POWER (2024), desde 1981 hasta 2024, y así realizar el análisis multianual de temperaturas máximas, medias y mínimas. También se consultó la base de datos NASA Appeears (2024), para la variable nubosidad en el periodo 2000 a 2023.

La distribución espacial de las estaciones meteorológicas consultadas se ilustra en la Figura 3-1, mientras que su descripción general se presenta en la Tabla 3-1.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	1
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

Figura 3-1 Estaciones Meteorológicas



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Tabla 3-1 Estaciones Meteorológicas

CODIGO ESTACION	NOMBRE	PARÁMETRO	CATEGORÍA	MAGNA ORIGEN UNICO - CTM12		ALTITUD (m.s.n.m.)
				ESTE	NORTE	
26150060	ARAUCA	Precipitación/Presión Atmosférica	Pluviométrica	4.700.568,21	2.123.113,34	917
26150160	LA ESPERANZA	Precipitación/Presión Atmosférica	Climática Principal	4.738.804,17	2.112.933,17	3.341
26130020	TERMALES	Precipitación/Presión Atmosférica	Pluviométrica	4.716.382,42	2.093.808,95	2.001
26130200	EL RECUERDO	Precipitación/Presión Atmosférica	Pluviométrica	4.696.063,65	2.106.969,33	1.587
2615502	NARANJAL	Humedad relativa	Climática Ordinaria	4.705.980,9	2.108.059,5	1.407

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

3.2.9.1.1 Temperatura

Definida con una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente general, medida por un termómetro.

La temperatura atmosférica es el nivel de calor existente en el aire en un punto geográfico determinado y es la principal variable por considerar para definir los tipos climáticos. En particular, el término temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de ceder calor a su alrededor. El promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado (hora, día, mes, año, década, etc.), se denomina temperatura media, en tanto que los valores más altos (máximos) y más bajos (mínimos) presentados en el transcurso de tal intervalo, se conocen como temperaturas extremas.

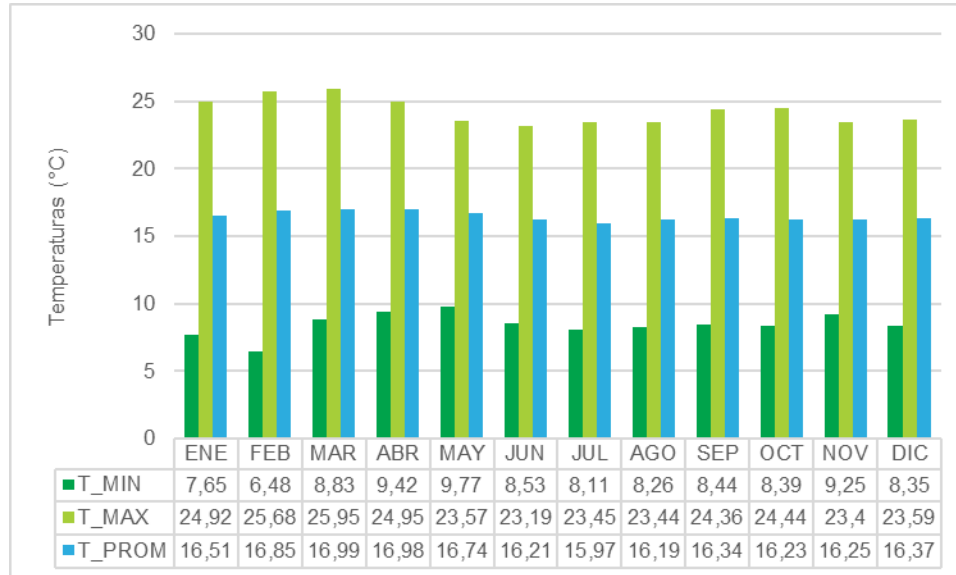
En consecuencia, la temperatura es uno de los factores más importantes en el análisis climático, pues este parámetro incide indirectamente en los procesos de evapotranspiración y condicionan la existencia de determinadas especies vegetales.

Debido a la ausencia de datos en las estaciones del IDEAM, para el análisis de este parámetro se empleó la información de la base de datos de la NASA POWER. La metodología de datos POWER a través de su programa de investigación de Ciencias de la Tierra proporciona datos relevantes para el estudio del clima y los procesos climáticos, estos datos incluyen estimaciones climatológicamente promediadas a largo plazo. Además, los valores diarios de los datos meteorológicos se basan en modelos que son lo suficientemente precisos para proporcionar datos confiables en regiones donde las mediciones de superficie son escasos o inexistentes.

Se consulta y descarga información de 43 años (1981-2024), trazando un área sobre la zona de estudio, en la que se obtienen temperaturas máximas y mínimas mensuales, con estos valores se estiman los valores medios. (*Anexos\I. HIDROLOGÍA Y CLIMA\1. Hidrología\1.1 Temperaturas*). En la Figura 3-2 se presentan los valores de temperatura para el área de influencia.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	3
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

Figura 3-2 Distribución de Temperaturas



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

De acuerdo con esta información se puede observar que los meses de febrero y marzo reportan las temperaturas más altas, de otro modo, los meses de junio y julio registraron las temperaturas más bajas. La temperatura promedio en el área de estudio es de 16,5°C.

3.2.9.1.2 Presión atmosférica.

La presión atmosférica se define como la fuerza por unidad de área ejercida contra una superficie por el peso del aire encima de esa superficie (IDEAM, 2006). De este modo, cuánto más alta sea la columna de aire encima de un lugar determinado, mayor será la presión en dicho sitio. Es por esta razón que a grandes altitudes la presión atmosférica es menor que en lugares sobre el nivel del mar en donde la columna de aire es mucho mayor.

Con el objetivo de determinar la presión atmosférica para el área de influencia del estudio, se emplea la ecuación matemática propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), en la cual se tiene en cuenta la altitud de las estaciones El Recuerdo (26130200), Arauca (26150060), La Esperanza (26150160) y Termales (26130020), que se identificaron cercanas al área de estudio.

$$P = 101,3 \left[\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right]^{5,26}$$

Donde:

P: presión atmosférica en KPa.

Z: Elevación sobre el nivel del mar en m.

En la Tabla 3-2 se presentan los resultados de Presión Atmosférica de cada estación, posteriormente, se promedian los datos obtenidos de cada estación y se obtiene el resultado de presión atmosférica promedio, para el área de influencia que corresponde a 80,54 Kpa.

Tabla 3-2 Presión Atmosférica Palestina.

NOMBRE	CÓDIGO ESTACIÓN	COORDENADAS ORIGEN UNICO NACIONAL		ALTITUD (m.s.n.m)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (Kpa)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (KBar)
		ESTE	NORTE			
ARAUCA (26150060)	26150060	4.700.568,21	2.123.113,34	917	90,92	9.091,99
LA ESPERANZA (26150160)	26150160	4.738.804,17	2.112.933,17	3.341	67,56	6.756,05
TERMALES (26130020)	26130020	4.716.382,42	2.093.808,95	2.001	79,78	7.977,82
EL RECUERDO (26130200)	26130200	4.696.063,65	2.106.969,33	1.587	83,89	8.389,46
Presión Atmosférica Promedio					80,54	8.053,83

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

3.2.9.1.3 Precipitación: media mensual y anual.

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae a la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, tormenta, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico (Llorca Llorca & Bautista Carrascosa, 2004).

3.2.9.1.3.1 Procesamiento de información

Para detectar y corregir las no homogeneidades de las series de datos se utilizó la función FindU del paquete RhtestsV4, este método consiste en la detección estadística de puntos de cambio (changepoints) en series temporales climáticas,

particularmente útiles en el análisis de la homogeneidad de series de precipitación o temperatura. Este procedimiento implementa un modelo de regresión por fases múltiples (multiple-phase regression model), el cual identifica cambios estructurales en la media de la serie a lo largo del tiempo. El modelo general se expresa como:

$$Y_t = \mu_j + \beta_j t + \epsilon_t \text{ para } t \in \text{segmento } j$$

donde:

Y_t es el valor observado en el tiempo t

μ_j es la media del segmento j ,

β_j es la pendiente (tendencia) del segmento j ,

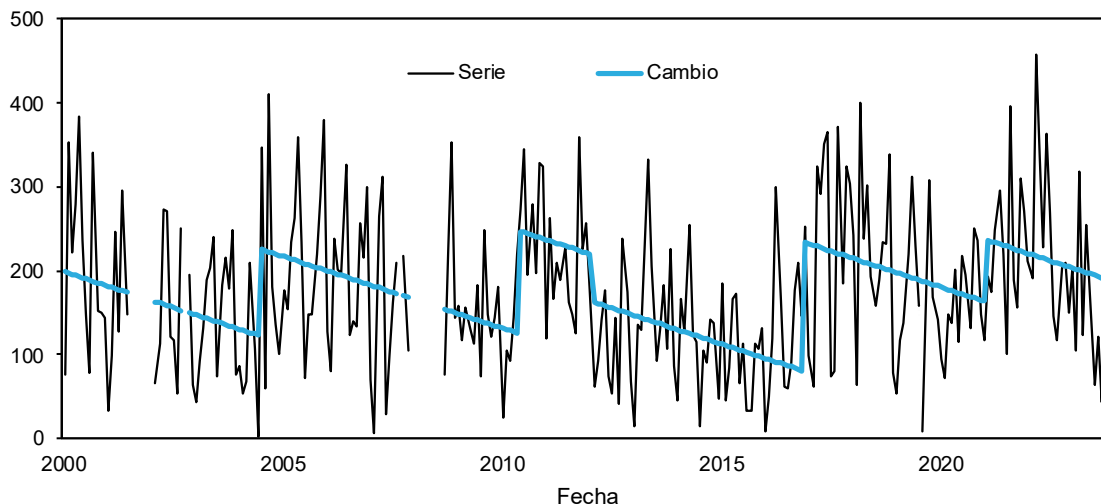
ϵ_t es el término de error aleatorio, usualmente considerado como ruido blanco o con autocorrelación de primer orden AR(1)

La función FindU detecta puntos de ruptura tipo 1 (cambios en la media o tendencia) a través de la maximización del estadístico PFmax, evaluando todos los posibles puntos de división en la serie. Este análisis se realiza a un nivel de significancia preestablecido $\alpha = 1 - p_{lev}$ (para este estudio se usó el valor por defecto, $p_{lev} = 0.95$), y los cambios detectados son validados mediante intervalos de confianza y comparación con distribuciones empíricas. Una vez detectado un cambio, es posible ajustar la serie a un segmento base seleccionado, utilizando métodos como la corrección por media o el mapeo por cuantiles (QM), asegurando que la serie final sea homogénea y adecuada para análisis climáticos y estadísticos posteriores.

Para la estación Arauca se encontraron 5 puntos de quiebre correspondientes a: 2004-06, 2010-05, 2012-01, 2016-11 y 2021-01, de estos puntos tal como se ve en la Figura 3-3, 2012-01 y 2021-01 no tiene suficiente evidencia estadística, pero el cambio es visible y los saltos podrían deberse a la variabilidad natural.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	6
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

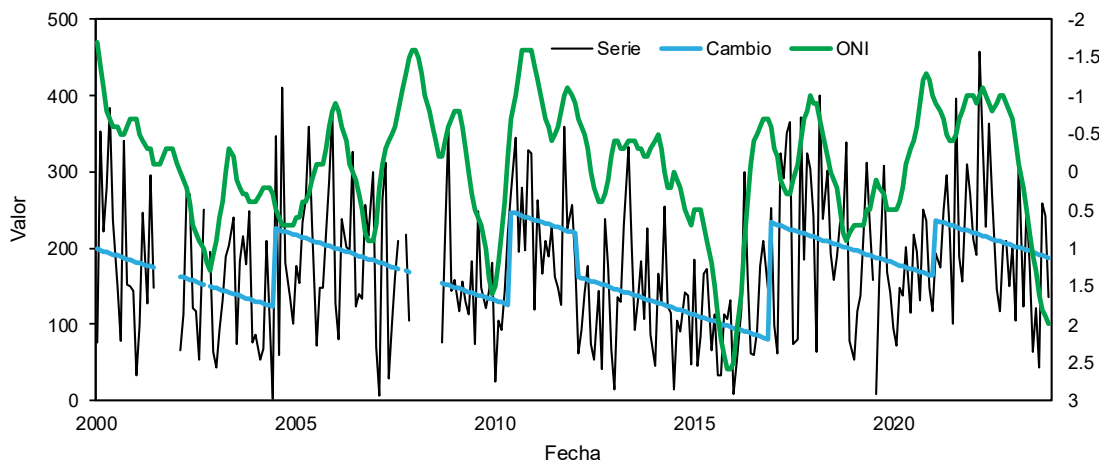
Figura 3-3 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Arauca



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Con la finalidad de correlacional la correspondencia de estos saltos con fenómenos naturales se realizó una comparación visual con el Oceanic Niño Index -ONI (ver Figura 3-4), dejando ver que hay una correlación significativa del ONI con los aumentos y disminución de la precipitación, siendo explicables físicamente los saltos detectados por la prueba de homogeneidad.

Figura 3-4 Relación entre los saltos de la estación Arauca y el ONI



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

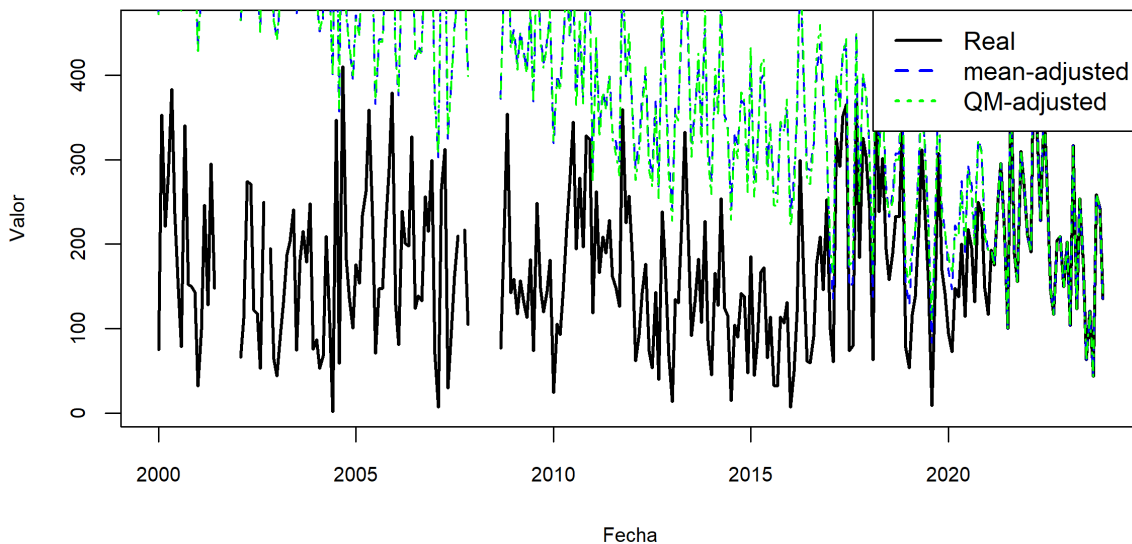
Teniendo en cuenta que se presentaron no homogeneidades se realizó la corrección automática por la media y por mapeo de cuantiles, sin embargo, estas correcciones

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	7
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

sobreestimaron los valores (ver Figura 3-5), por ello la corrección para esta estación se realizó de manera manual mediante factores de corrección para cada segmento, estos factores corresponden a la diferencia absoluta de la mediana global y la mediana de cada segmento.

Tras aplicar esta corrección la serie homogeneizada se muestra en la Figura 3-6, se corrigieron particularmente los valores en los intervalos 2010 a 2016 en donde los máximos se redujeron y los mínimos del periodo niño 2015 aumentaron.

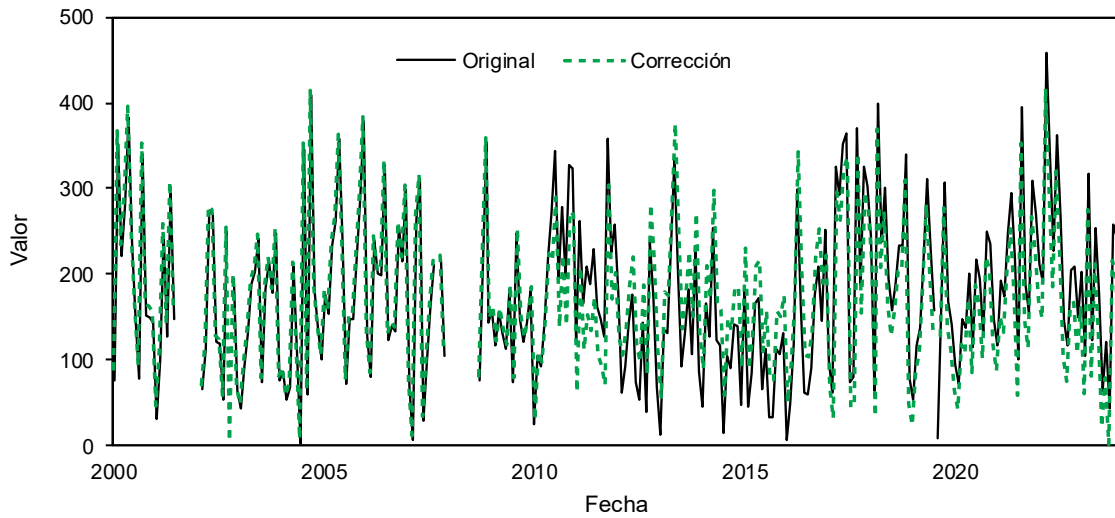
Figura 3-5 Corrección automática homogeneidad estación Arauca



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	8
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

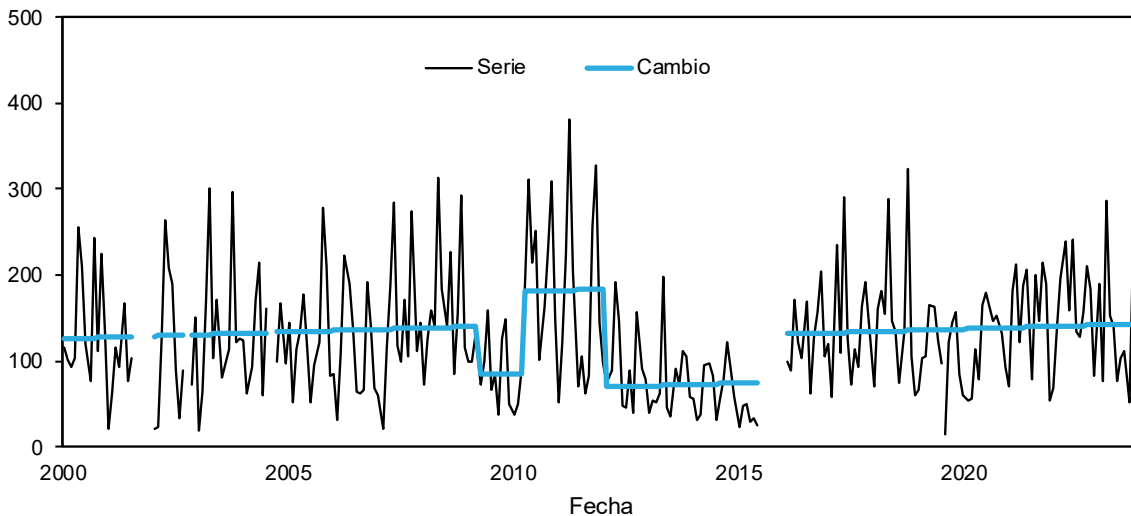
Figura 3-6 Corrección de la homogeneidad estación Arauca



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

En la estación la Esperanza se encontraron 4 saltos en los siguientes puntos: 2009-03, 2010-03, 2012-01 y 2015-06, de los cual el primero no es lo suficientemente significativo (ver Figura 3-7) y puede deber a la variabilidad natural de la precipitación.

Figura 3-7 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación La Esperanza

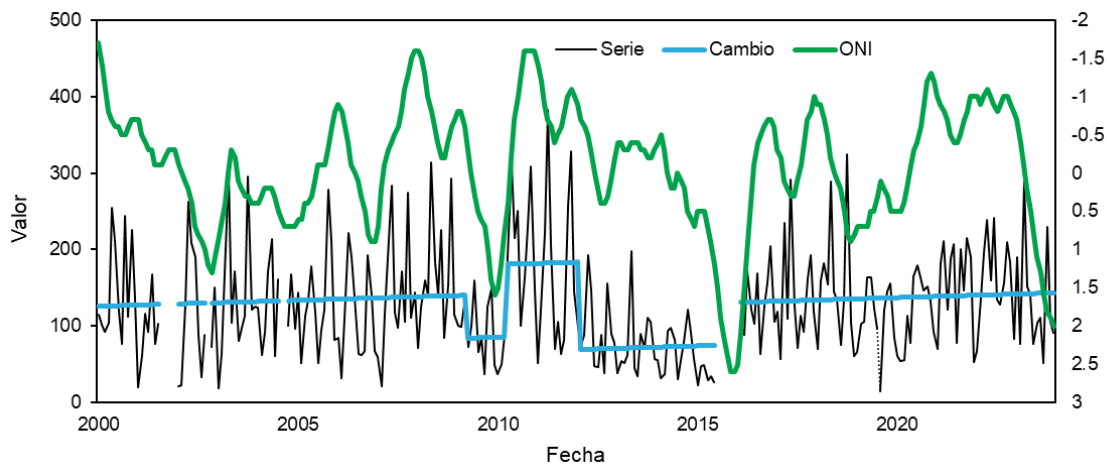


Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	9
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

La Figura 3-8 muestra la relación entre los cambios de tendencia de la serie de precipitación y el ONI, mediante el análisis visual de esta relación se concluye que los saltos observados se pueden relacionar con los cambios expresados por este fenómeno climático, esto es particularmente evidente en los dos valles correspondientes a 2010 y 2015, donde la precipitación es superior antes y después de este evento.

Figura 3-8 Relación entre los saltos de la estación La Esperanza y el ONI

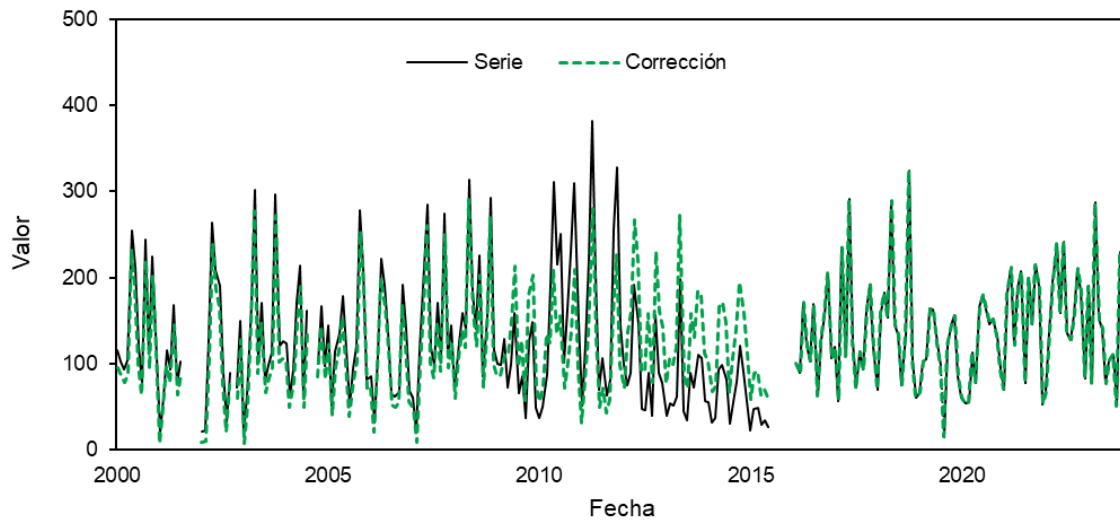


Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024

Con base en estos resultados la serie fue ajustada automáticamente mediante mapeo de cuantiles, tal como se muestra en la Figura 3-9 los valores anteriores a 2015-06 se ajustaron para mantener la tendencia general de la serie.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	10
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-9 Corrección de la homogeneidad estación La Esperanza



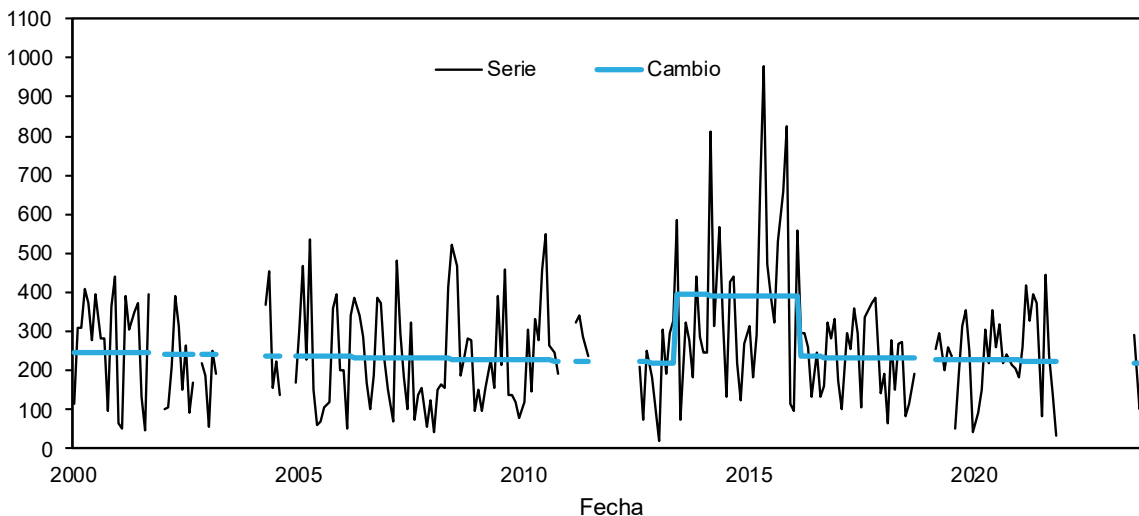
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Para la estación el recuerdo se encontró dos puntos de cambio correspondientes a el 2013-05 y 2016-02, ambos puntos significativamente estadísticos, los cuales como se puede observar en la Figura 3-10 corresponden al inicio y fin de un periodo con precipitaciones significativamente mayores a las registradas en la serie.

Con respecto a este periodo la Figura 3-11 muestra que no existe correspondencia significativa entre el comportamiento de la serie con el ONI. Para el periodo comprendido por los puntos de cambio se evidencia que la precipitación aumenta y como en las dos estaciones analizadas se esperaría una disminución a causa de los efectos del fenómeno del niño.

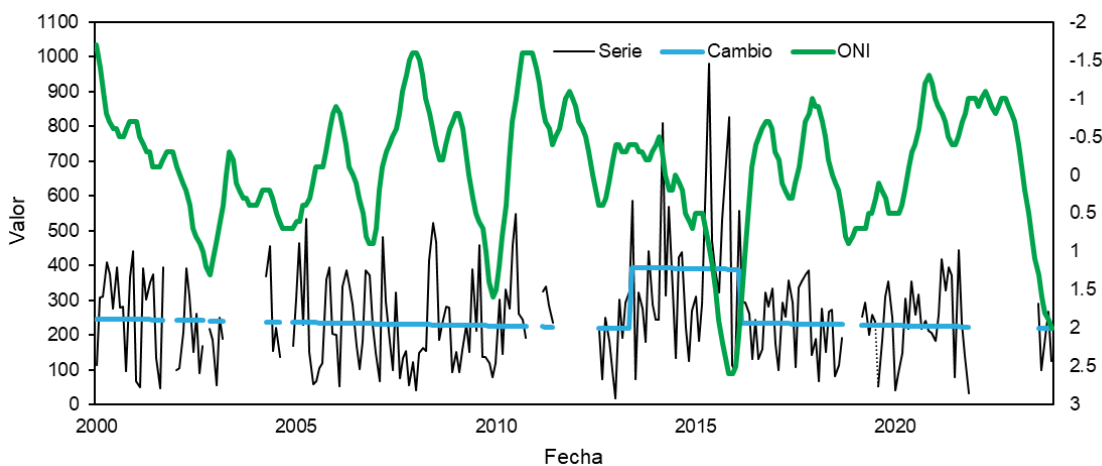
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	11
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-10 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Recuerdo



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Figura 3-11 Relación entre los saltos de la estación Recuerdo y el ONI

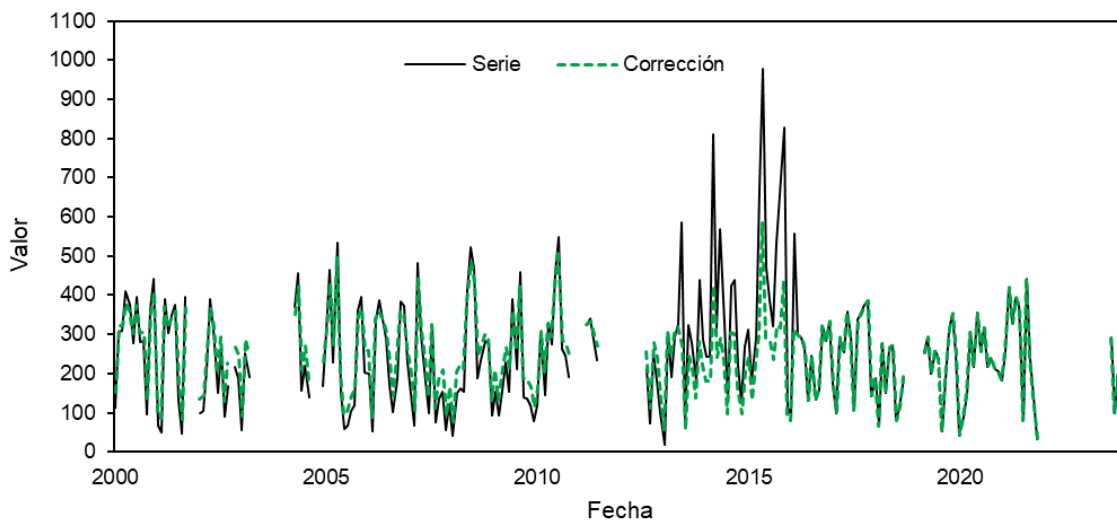


Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Dado que estos puntos identificados no pueden ser explicados por fenómenos macro climáticos y no existe información climática local o metadatos asociados a los valores, este periodo se penaliza como un fenómeno no natural, y conforme a lo mostrado en la Figura 3-12 los valores para este periodo fueron subestimados.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	12
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

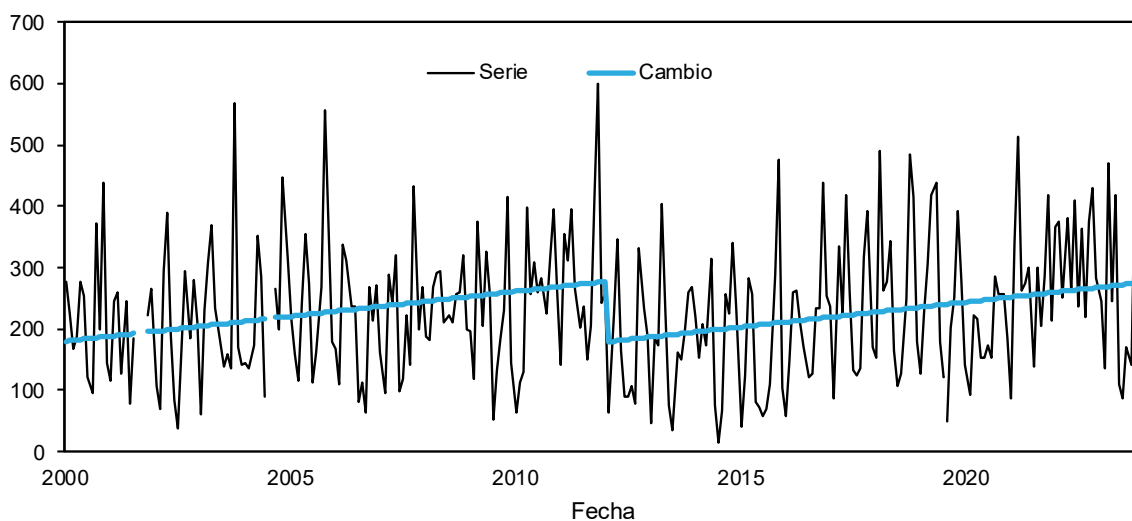
Figura 3-12 Corrección de la homogeneidad estación El Recuerdo



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Finalmente, para la estación Termales se encontró un punto de cambio correspondiente a 2012-01, el cual es significativamente estadístico, conformando un punto de ruptura de la tendencia tal como se muestra en la Figura 3-13.

Figura 3-13 Serie anomalías detectadas regresión multifase estación Termales



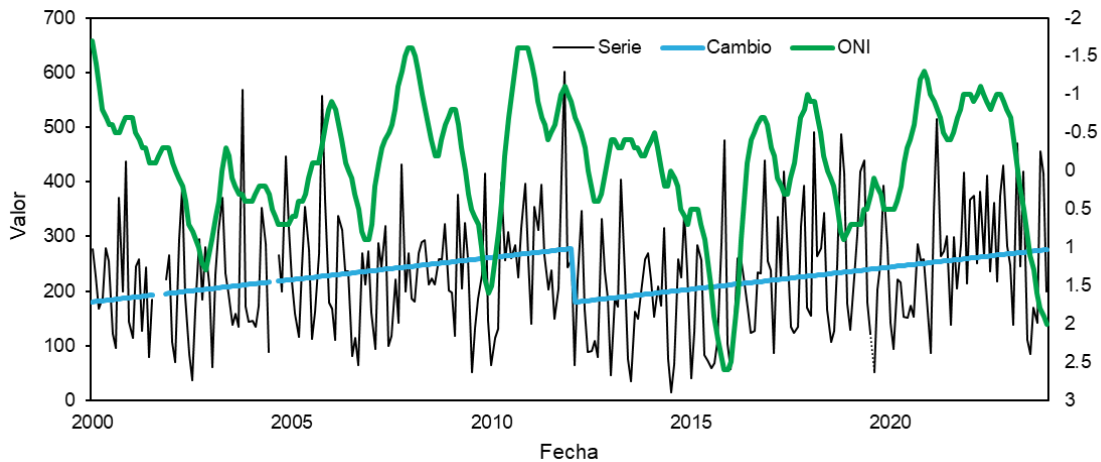
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Tal como se realizó en las demás estaciones la Figura 3-14 muestra la relación entre la serie de datos de precipitación y el valor del ONI. Al igual que la estación El

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	13
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Recuerdo la relación se poco significativa, siguiendo tendencias distintas. En el punto de ruptura se evidencia un pico que coincide aproximadamente en comportamiento (diminución – aumento – disminución), pero antes y después de la ruptura no se evidencia la correspondencia es menor, existiendo puntos donde los picos y valles no corresponden.

Figura 3-14 Relación entre los saltos de la estación Termales y el ONI

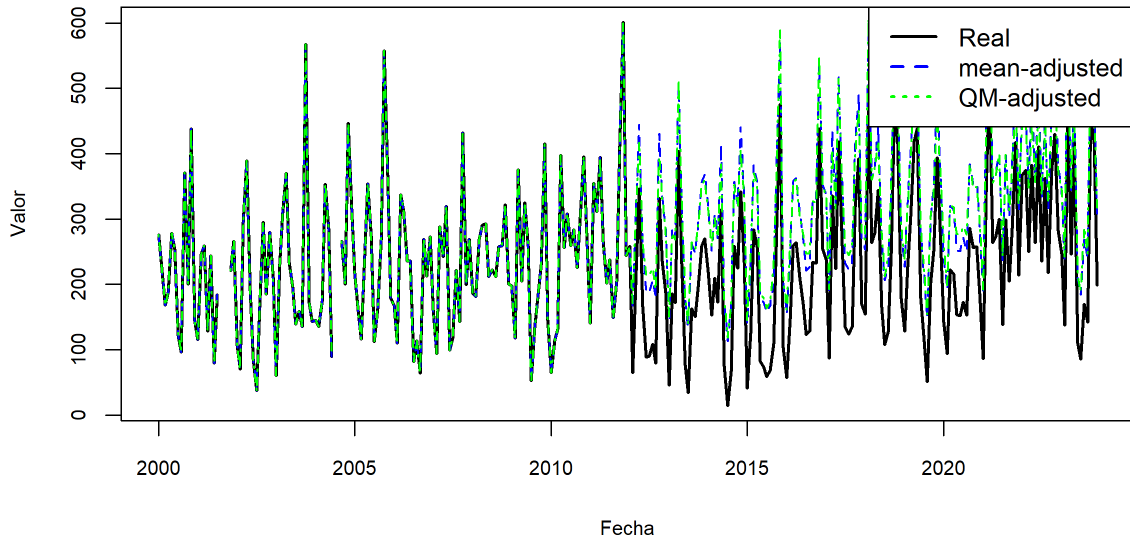


Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

A partir de este punto de cambio se realizó la corrección automáticamente mediante la media y mapeo de cuantiles (ver Figura 3-15 y Figura 3-16), no obstante, estos ajustes no fueron satisfactorios, sobreestimando o subestimando los valores de precipitación antes o después del punto de ruptura, razón por la cual la variabilidad era mayor que la original. Dado estas circunstancias y teniendo en cuenta que el comportamiento antes y después de la ruptura es similar en los extremos no realizo ajuste y se consideró como homogénea la serie.

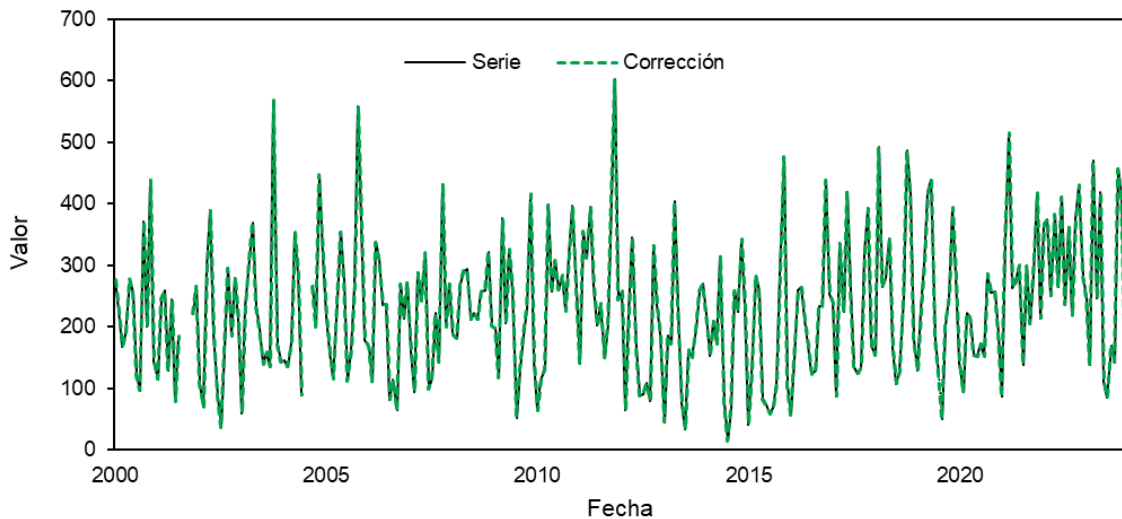
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	14
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-15 Ajuste por medias y mapeo de cuantiles estación Termales



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Figura 3-16 Corrección de la homogeneidad estación Termales



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

3.2.9.1.3.2 Llenado de datos

Los datos ausentes fueron imputados mediante un modelo de regresión múltiple, aprovechando las correlaciones entre estaciones cercanas. El método de correlación múltiple es una técnica estadística utilizada para estimar datos faltantes en una serie temporal, basándose en las relaciones lineales entre la variable dependiente y una o

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	15
------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

más variables independientes (Montgomery, 2014). En este caso, se construye un modelo de regresión múltiple que permite predecir el valor de la variable ausente en una estación específica utilizando datos de estaciones cercanas. El modelo se expresa matemáticamente como:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + \epsilon$$

Donde (y) es el valor estimado de la variable dependiente (precipitación o temperatura), (x_1, x_2, \dots, x_n) son las variables independientes provenientes de otras estaciones, (β_0) es el intercepto, ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$) son los coeficientes de regresión que representan la influencia de cada variable independiente, y (ϵ) es el término de error asociado. El ajuste del modelo se realiza minimizando el error cuadrático medio, asegurando la mejor aproximación a los valores observados. Los resultados de la regresión múltiple para las estaciones analizadas se muestran en la Tabla 3-3, los cuales se usaron para estimar los valores faltantes siempre y cuando existieran datos para las demás estaciones, en los casos que no se cumplió este requisito no se imputaron los datos. Para consultar a detalle el resultado de la imputación de datos en *Anexos\I. HIDROLOGÍA Y CLIMA\1. Hidrología\1.2 Precipitaciones\1.2.1 Precipitaciones.xlsx* se presentan los datos crudos y completados.

Tabla 3-3 Coeficientes regresión múltiple estimados variables precipitación

Estación	β_0	β_1	β_2	β_3
Arauca	31,95	0,077	0,303	0,411
Esperanza	15,05	0,299	0,045	0,154
Recuerdo	133,23	0,050	0,472	0,187
Termales	65,41	0,101	1,052	0,042

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

En las Tabla 3-4 Tabla 3-5, Tabla 3-6 y Tabla 3-7, se presentan los datos de cada una de las estaciones consultadas (ver *Anexos\I. HIDROLOGÍA Y CLIMA\1. Hidrología\1.2 Precipitaciones\1.2.2 Precipitaciones*).

Tabla 3-4 Datos de Precipitación Estación Arauca (26150060)

AÑOS/MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
	2000	88,80	366,80	234,80	293,80	396,80	249,80	160,80	92,80	353,80	165,80	163,80	156,80
2001	45,80	112,80	259,80	141,80	308,80	161,80	167,67	5,20					1203,67
2002	117,45	71,20	117,20	279,20	276,20	127,20	123,20	58,20	255,20	5,20	200,20	69,20	1699,65
2003	49,20	98,20	136,20	193,20	208,20	246,20	79,70	187,20	220,20	184,20	253,20	81,20	1936,90
2004	92,20	58,20	73,20	214,20	112,20	7,20	352,20	64,20	415,20	186,20	141,20	106,20	1822,40
2005	181,20	159,20	239,20	267,20	364,20	238,20	76,20	152,20	153,20	225,20	294,20	384,20	2734,40
2006	133,20	86,20	244,20	206,20	203,20	332,20	129,20	144,20	138,20	261,20	220,20	304,20	2402,40
2007	75,20	12,20	270,20	317,20	34,90	104,20	167,20	215,20	152,82	222,20	110,20	202,46	1883,98
2008	136,24	176,66	220,60	224,89	290,49	278,77	263,68	209,33	81,90	224,40	358,90	147,90	2613,76
2009	163,80	122,50	161,80	135,50	118,50	187,20	79,10	253,90	152,80	125,30	149,60	186,40	1836,40
2010	29,50	110,50	98,00	149,40	224,20	216,80	289,20	139,30	223,00	141,40	273,00	268,50	2162,80
2011	63,20	207,10	111,00	153,50	134,20	173,30	106,60	93,30	71,00	304,10	170,10	201,90	1789,30
2012	125,30	106,10	136,70	186,50	220,40	117,20	97,90	186,90	83,90	282,30	217,90	112,20	1873,30
2013	57,50	178,80	174,20	272,90	376,70	248,80	135,70	175,30	226,40	151,50	270,70	129,70	2398,20
2014	89,40	209,40	171,40	297,70	167,90	159,80	58,80	148,50	134,20	185,70	182,40	91,50	1896,70
2015	229,50	88,80	127,50	210,70	216,20	109,40	157,50	77,00	76,20	157,50	150,40	174,90	1775,60
2016	51,10	93,40	163,80	343,00	208,60	105,60	103,70	134,40	220,90	252,40	189,90	222,90	2089,70
2017	69,40	31,60	295,50	262,80	322,20	335,80	44,60	50,70	341,80	154,80	295,70	274,40	2479,30
2018	213,70	33,80	370,10	208,90	271,80	164,30	128,50	159,30	203,80	203,00	309,80	48,30	2315,30
2019	24,30	87,50	108,60	190,20	282,10	199,60	127,60	69,67	127,70	278,00	139,10	112,10	1746,47
2020	64,80	43,10	118,40	108,40	171,00	85,00	188,30	165,80	102,10	220,00	206,30	118,40	1591,60
2021	87,40	150,50	132,80	206,10	252,90	177,70	57,60	353,20	146,10	113,30	267,20	228,80	2173,60
2022	168,40	148,40	416,30	296,10	185,40	320,90	225,50	102,60	74,20	161,80	166,90	107,30	2373,80
2023	160,30	61,30	274,80	80,90	211,30	134,30	21,10	78,40	1,00	216,10	200,40	93,00	1532,90

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Tabla 3-5 Datos de Precipitación Estación La Esperanza (26150160)

LA ESPERANZA [26150160]	AÑOS/MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
	2000	95,90	85,50	77,93	87,29	231,07	187,23	99,27	63,88	220,09	93,98	201,12	113,53	1556,78
	2001	8,15	49,60	97,33	78,49	144,96	63,23	86,92						528,67
	2002	9,15	10,15	107,86	239,06	185,32	166,45	75,47	21,13	75,61	48,17	60,51	128,02	1126,91
	2003	7,14	52,67	146,31	277,06	88,33	148,07	67,12	83,30	95,42	272,05	101,69	106,06	1445,21
	2004	104,48	49,92	78,84	148,18	190,27	48,96	138,72			85,12	144,44	82,66	1071,58
	2005	122,35	40,09	96,86	114,46	154,86	99,20	39,11	81,16	102,77	254,04	187,38	69,33	1361,62
	2006	72,00	20,14	94,13	198,19	166,59	116,26	52,00	50,04	54,86	168,52	118,88	55,81	1167,42
	2007	48,07	9,13	99,07	164,77	260,04	100,64	84,10	148,57	90,73	250,05	95,53	122,70	1473,41
	2008	59,74	106,55	136,87	119,07	290,07	159,76	119,65	202,15	72,43	133,19	269,04	98,71	1767,23
	2009	86,32	85,75	110,12	109,30	150,37	212,88	96,91	126,68	56,84	178,76	202,84	71,23	1487,99
	2010	55,75	76,05	134,55	123,55	209,75	134,51	155,87	71,10	102,47	138,84	208,92	94,38	1505,73
	2011	31,61	81,42	134,78	280,53	129,84	49,01	71,15	43,18	59,01	157,93	226,32	98,10	1362,87
	2012	72,07	137,63	160,61	266,45	220,37	92,50	89,99	158,66	78,02	230,45	160,71	142,23	1809,69
	2013	77,11	106,21	99,10	119,52	272,36	85,07	71,72	158,47	131,26	184,91	179,52	112,75	1598,01
	2014	103,76	67,81	74,35	166,38	171,01	147,74	66,53	106,46	139,97	195,19	158,16	110,98	1508,35
	2015	58,28	89,26	91,57	64,36	70,21	61,27	86,92	62,29	72,30	123,79	156,29	90,42	1026,96
	2016	45,72	100,00	89,00	171,00	122,00	103,00	169,00	63,00	127,00	157,00	205,00	106,00	1457,72
	2017	119,00	57,00	235,00	109,00	291,00	125,00	72,00	114,00	93,00	162,00	192,00	119,00	1688,00
	2018	70,00	160,00	182,00	154,00	289,00	145,60	134,60	75,00	134,00	324,00	104,30	61,00	1833,50
	2019	66,00	103,00	105,00	164,00	163,00	123,00	97,00	15,00	121,00	145,00	156,00	85,00	1343,00
	2020	61,00	54,00	56,00	113,00	78,00	165,00	180,00	163,00	146,00	152,00	132,00	93,00	1393,00
	2021	70,00	182,00	211,60	122,00	188,00	207,00	78,00	200,00	146,00	215,00	190,00	53,00	1862,60
	2022	68,00	137,00	196,00	239,00	159,00	242,00	135,00	128,00	157,00	210,00	184,00	83,00	1938,00
2023	190,00	77,00	287,00	152,00	141,00	77,00	104,00	111,00	51,00	229,00	106,00	91,00	1616,00	

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Tabla 3-6 Datos de Precipitación Estación Termales (26130020)

TERMALES [26130020]	AÑOS/MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
	2000	276,00	226,00	168,00	188,00	278,00	254,00	121,00	96,00	371,00	200,00	438,00	144,00	2.760,00
	2001	115,00	246,00	259,00	128,00	244,00	79,00	184,00	159,80	203,63	318,66	221,00	266,00	2.424,09
	2002	106,00	70,00	295,00	389,00	190,00	85,00	37,00	165,00	295,00	185,00	280,00	210,00	2.307,00
	2003	60,00	231,00	310,00	370,00	233,00	196,00	139,00	159,00	135,00	568,00	171,00	143,00	2.715,00
	2004	145,00	135,00	174,00	353,00	285,00	89,00	125,13	159,80	266,00	200,00	447,00	315,00	2.693,93
	2005	217,00	159,00	116,00	244,00	354,00	274,00	112,00	163,00	268,40	557,60	367,30	179,00	3.011,30
	2006	167,60	110,10	337,40	310,90	235,70	236,30	81,20	113,40	64,00	269,20	212,60	272,60	2.411,00
	2007	160,60	94,10	287,90	242,50	319,60	99,30	117,20	222,00	142,60	431,90	199,80	269,40	2.586,90
	2008	186,70	181,30	269,20	290,40	293,00	211,90	222,30	211,60	257,80	258,80	321,80	200,60	2.905,40
	2009	197,80	117,80	375,60	205,10	325,10	258,30	52,10	133,30	185,80	230,20	415,30	145,10	2.641,50
	2010	64,60	113,40	131,00	397,80	256,50	308,10	259,20	283,60	225,60	316,00	395,80	258,40	3.010,00
	2011	140,70	354,60	311,50	394,50	265,40	202,10	237,70	149,10	205,00	411,60	601,30	243,50	3.517,00
	2012	258,10	64,50	221,90	346,10	165,50	88,50	89,70	108,00	79,40	332,10	235,10	187,00	2.175,90
	2013	45,20	185,70	172,20	403,70	231,30	76,10	34,20	162,60	150,10	196,60	258,40	269,70	2.185,80
	2014	218,90	153,10	209,10	172,40	314,60	75,00	14,30	66,80	258,30	225,10	341,90	233,90	2.283,40
	2015	40,90	125,20	283,60	257,00	82,30	73,50	58,70	68,70	109,40	287,40	476,10	103,00	1.965,80
	2016	56,80	147,50	259,50	263,90	211,20	169,90	122,60	128,00	234,20	232,60	438,60	253,70	2.518,50
	2017	238,10	86,80	336,00	223,60	418,70	258,90	134,10	123,70	135,00	318,90	392,20	169,80	2.835,80
	2018	154,10	491,10	263,70	278,50	343,90	165,00	107,40	127,80	247,60	486,00	415,20	177,70	3.258,00
2019	128,30	227,40	304,60	419,00	438,40	179,10	122,30	50,60	202,70	250,40	393,60	280,70	2.997,10	
2020	142,20	94,00	222,10	215,60	153,80	151,80	172,70	152,40	285,70	255,80	257,90	186,00	2.290,00	
2021	86,30	341,70	514,60	263,60	273,20	300,00	138,10	299,10	204,70	285,80	417,40	213,80	3.338,30	
2022	366,90	374,60	250,10	382,30	263,90	410,90	235,60	362,20	218,10	373,80	430,10	281,90	3.950,40	
2023	246,80	137,30	469,60	245,90	419,50	109,70	85,50	169,70	142,20	456,30	415,70	198,40	3.096,60	

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Tabla 3-7 Datos de Precipitación Estación El Recuerdo (26130200)

EL RECUERDO [26130200]	AÑOS/MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
	2000	152,55	320,91	321,66	379,11	360,78	302,86	372,75	305,31	305,84	133,07	355,28	408,43	3718,56
	2001	101,95	86,75	370,93	318,05	345,44	359,03	176,15	81,74	368,50				2208,54
	2002	135,94	142,29	263,78	369,32	320,37	200,42	292,20	127,84	227,91	170,34	268,59	248,37	2767,39
	2003	90,82	286,70	250,89	307,62	279,62	293,62	200,26	255,59	267,28	340,21	289,92	203,66	3066,18
	2004	209,15	188,50	204,33	352,30	421,78	208,75	269,87	184,46		304,10	290,86	230,20	2864,30
	2005	314,20	431,24	272,35	499,02	204,69	95,05	104,30	144,58	161,44	348,93	366,36	257,33	3199,49
	2006	257,24	87,68	338,54	360,04	337,10	304,09	230,76	143,56	244,57	360,16	353,60	270,15	3287,48
	2007	199,91	104,76	446,68	307,22	241,92	140,05	324,92	111,44	182,32	210,87	90,26	166,10	2526,44
	2008	75,78	204,50	222,60	212,50	382,01	486,11	432,43	246,96	270,81	299,57	297,31	133,20	3263,77
	2009	209,97	132,18	216,56	267,62	211,65	360,23	258,88	424,40	188,53	186,46	165,36	115,93	2737,78
	2010	162,70	307,75	201,60	327,79	294,37	422,77	514,50	284,14	276,49	247,15	346,74	313,16	3699,17
	2011	191,01	301,53	325,71	333,03	297,79	268,82	231,66	207,38	208,11	361,84	337,50	279,10	3343,48
	2012	244,35	202,29	247,38	299,45	279,33	209,78	200,76	256,24	111,62	278,49	240,78	141,78	2712,25
	2013	54,74	306,46	244,23	301,00	319,75	274,30	56,88	244,23	211,92	136,42	283,15	221,66	2654,72
	2014	181,44	180,54	426,57	241,45	290,64	232,09	97,65	304,41	301,05	162,51	97,05	205,96	2721,37
	2015	242,63	130,68	224,41	300,18	587,90	289,06	280,87	234,52	322,14	315,16	436,40	91,84	3455,80
	2016	79,98	314,83	297,00	293,00	261,00	131,00	245,00	132,00	158,60	321,00	283,00	333,00	2849,41
	2017	173,00	99,00	293,00	254,00	358,00	294,00	107,00	337,00	354,00	374,00	386,00	143,00	3172,00
	2018	189,00	66,00	277,00	151,00	266,00	273,00	81,00	114,00	192,00	336,32	362,53	192,37	2500,22
2019	172,03	222,29	253,00	293,00	201,00	258,00	237,00	52,00	186,00	312,00	353,00	249,00	2788,33	
2020	42,00	89,00	148,00	305,00	217,00	354,00	257,00	317,00	242,26	292,64	285,57	228,63	2778,10	
2022	183,00	257,00	419,00	329,00	394,00	372,00	80,00	443,00	235,00	140,00	33,00	283,99	3168,99	
2021	284,89	280,33	386,48	356,62	278,17	373,84	290,61	255,92	216,97	290,15	301,81	240,86	3556,64	
2023	264,66	191,75	365,31	225,09	318,65	221,05	164,40	291,00	98,00	199,00	267,00	126,00	2731,90	

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Mediante software GIS, se realiza una interpolación Kriging entre las estaciones, lo que permite obtener la distribución de lluvias en el área de estudio y sus isoyetas.

Con los registros de cada estación se obtienen las precipitaciones medias, mínimas y máximas mensuales que se muestran en la Tabla 3-8 y se presentan las distribuciones de las precipitaciones mensuales y anuales que se observan en las Figura 3-17, Figura 3-18, Figura 3-19 y Figura 3-20.

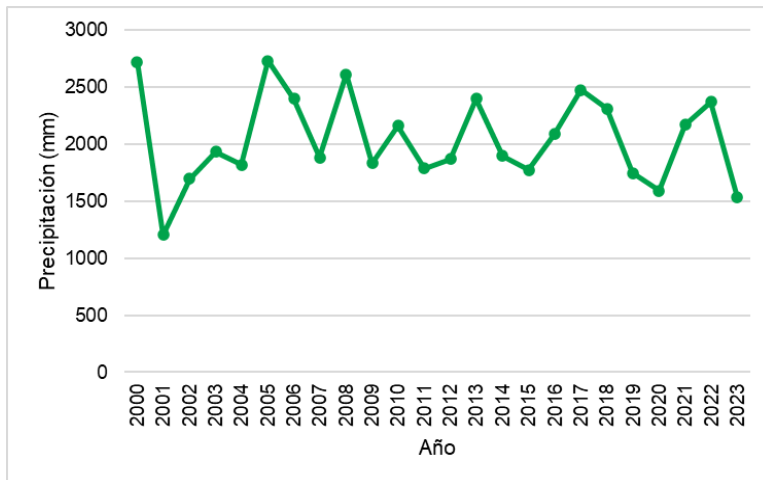
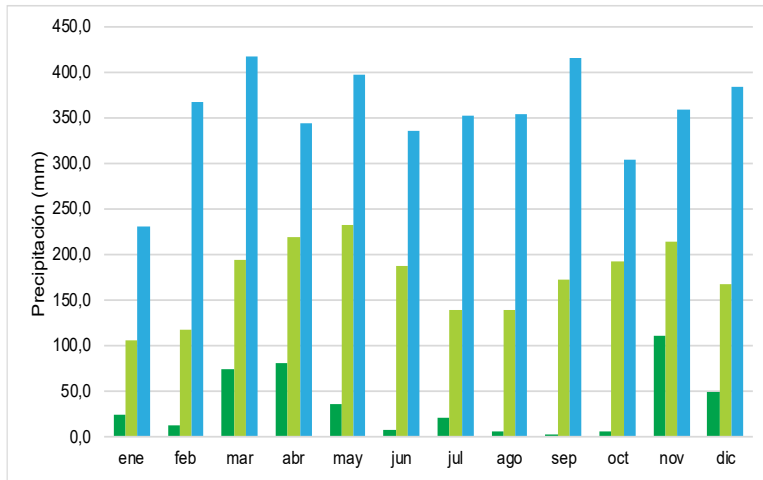
Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	21
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-8 Registros de Precipitaciones (Año 2000 a 2023)

ARAUCA [26150060]	PPT/MES	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	PPT MINIMA MENSUAL	24,3	12,2	73,2	80,9	34,9	7,2	21,1	5,2	1,0	5,2	110,2	48,3
	PPT MEDIA MENSUAL	104,9	117,3	194,0	218,3	231,6	186,7	139,2	138,2	172,0	192,2	214,4	166,2
	PPT MAXIMA MENSUAL	229,5	366,8	416,3	343,0	396,8	335,8	352,2	353,2	415,2	304,1	358,9	384,2
LA ESPERANZA [26150160]	PPT/MES	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	PPT MINIMA MENSUAL	7,1	9,1	56,0	64,4	70,2	49,0	39,1	15,0	51,0	48,2	60,5	53,0
	PPT MEDIA MENSUAL	70,9	80,7	129,2	157,5	181,9	127,5	98,8	102,1	105,8	178,7	162,6	95,1
	PPT MAXIMA MENSUAL	190,0	182,0	287,0	280,5	291,0	242,0	180,0	202,1	220,1	324,0	269,0	142,2
TERMALES [26130020]	PPT/MES	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	PPT MINIMA MENSUAL	40,9	64,5	116,0	128,0	82,3	73,5	14,3	50,6	64,0	185,0	171,0	103,0
	PPT MEDIA MENSUAL	159,2	186,1	272,6	291,0	274,8	181,3	130,5	159,8	203,6	318,7	356,0	216,8
	PPT MAXIMA MENSUAL	366,9	491,1	514,6	419,0	438,4	410,9	259,2	362,2	371,0	568,0	601,3	315,0
EL RECUERDO [26130200]	PPT/MES	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	PPT MINIMA MENSUAL	42,0	66,0	148,0	151,0	201,0	95,0	56,9	52,0	98,0	133,1	33,0	91,8
	PPT MEDIA MENSUAL	175,5	205,6	292,4	307,6	311,2	280,2	229,5	229,1	231,8	266,1	282,2	221,0
	PPT MAXIMA MENSUAL	314,2	431,2	446,7	499,0	587,9	486,1	514,5	443,0	368,5	374,0	436,4	408,4

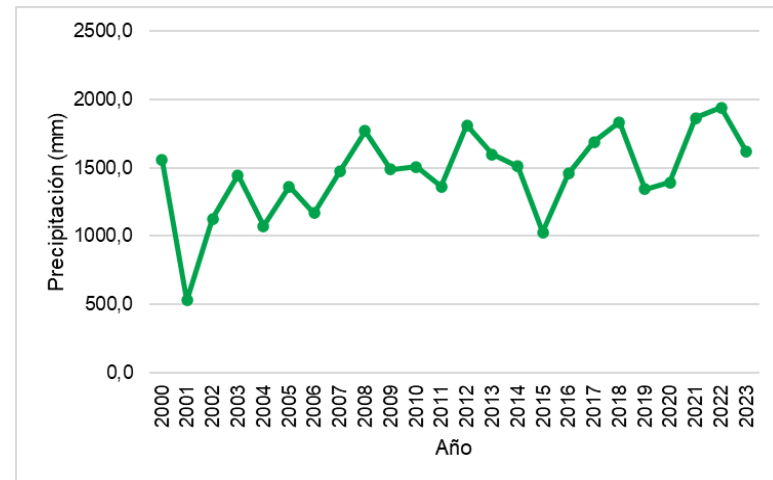
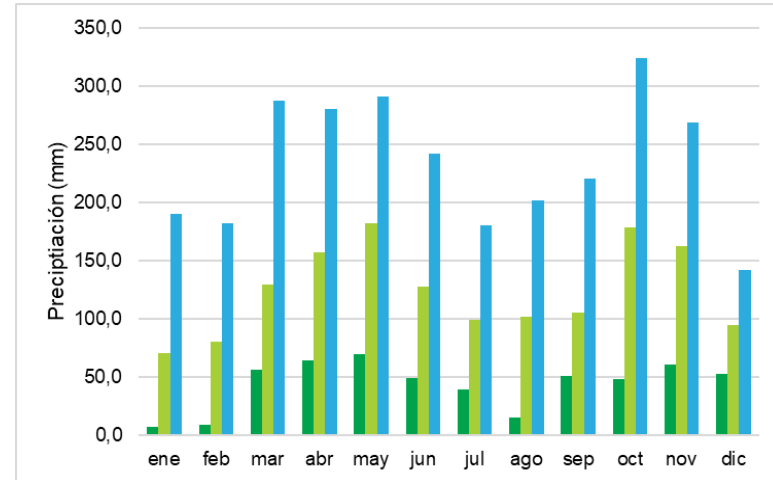
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Figura 3-17 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación Arauca



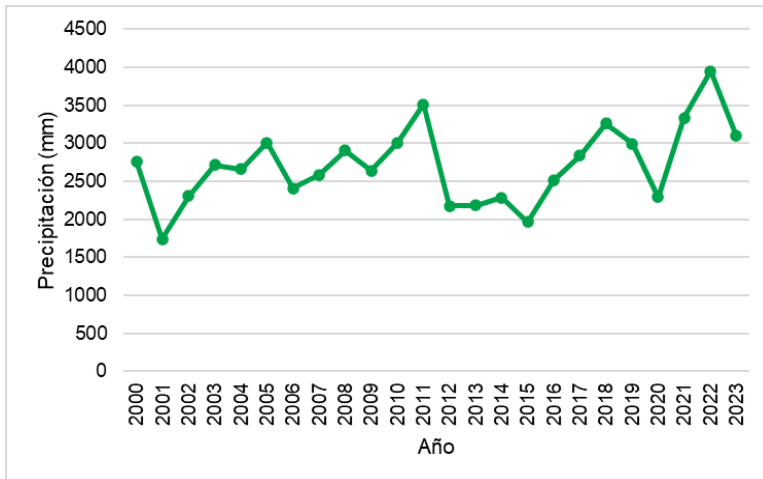
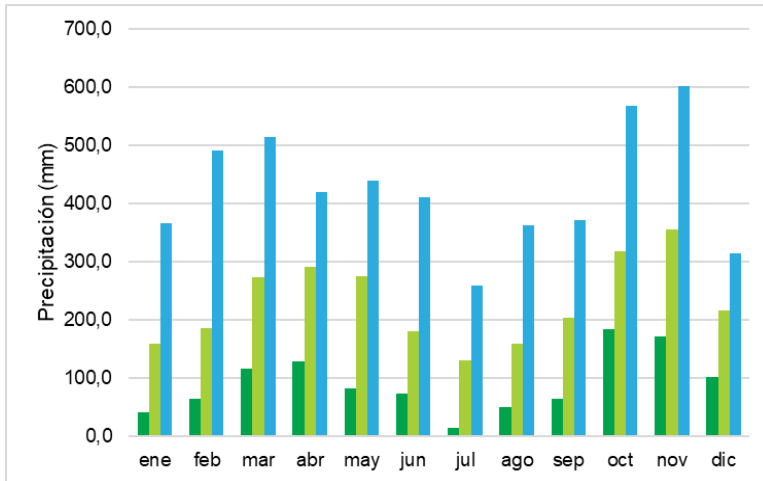
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Figura 3-18 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación La Esperanza



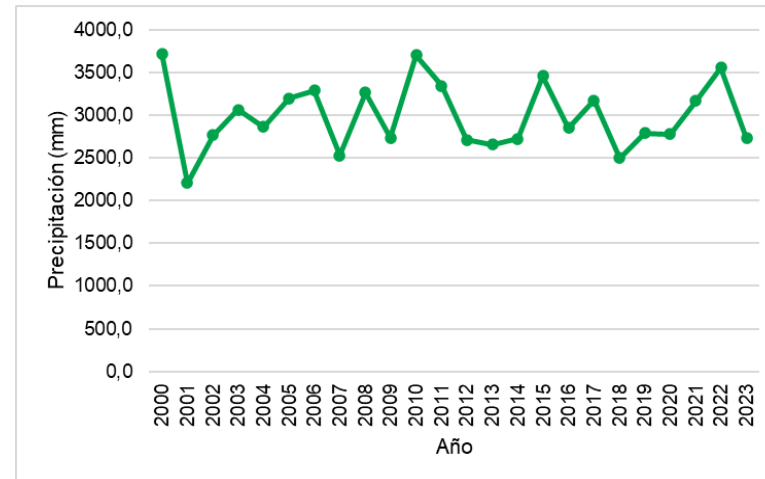
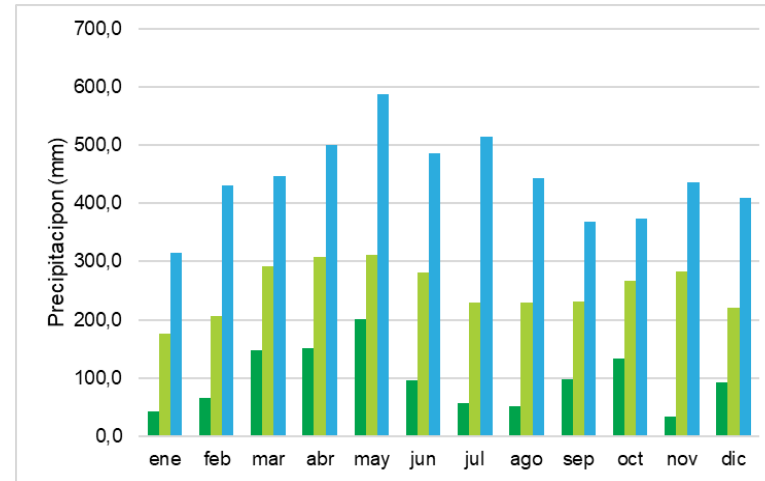
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Figura 3-19 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación Termales



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Figura 3-20 Distribución mensual multianual y Total Anual Estación El Recuerdo

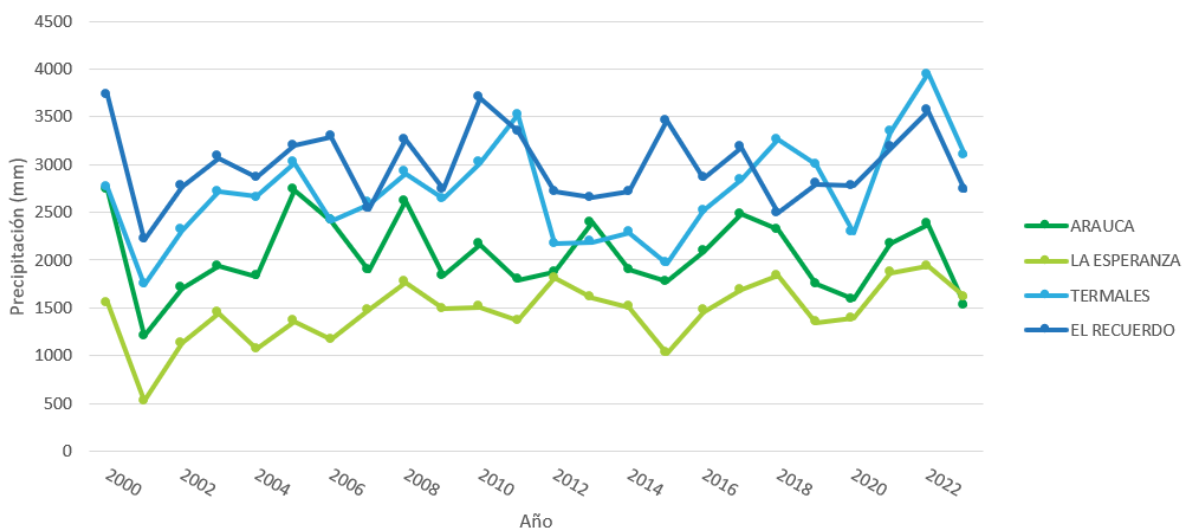


Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

Partiendo de la información presentada anteriormente es posible determinar que la distribución de lluvias es de tipo bimodal, de manera general, los meses entre marzo y abril obedecen a la primera temporada de lluvias en el año, con una temporada seca entre los meses de junio y agosto, y que la segunda temporada de lluvias se da entre los meses de octubre y diciembre, para darle paso a una segunda temporada seca entre los meses de enero a marzo, Por otro lado, los registros de precipitación total anual presentan un comportamiento muy variable, y se destaca la estación El Recuerdo la cual durante el año 2015 presenta valores más altos respecto a las demás estaciones, tal como se muestra en la Figura 3-21.

Con respecto a esta anomalía se revisaron los valores de los datos mensuales para el periodo 2014 -2015, encontrando que algunos valores son relativamente mayores a los de otros años; sin embargo, también hay valores más bajos con respecto a otros años, lo cual sugiere que no existe un error sistemático que cause una sobre estimación de la precipitación, adicionalmente en los metadatos no se encuentra información que indique anomalías.

Figura 3-21 Precipitación total anual para el periodo 2000 - 2023



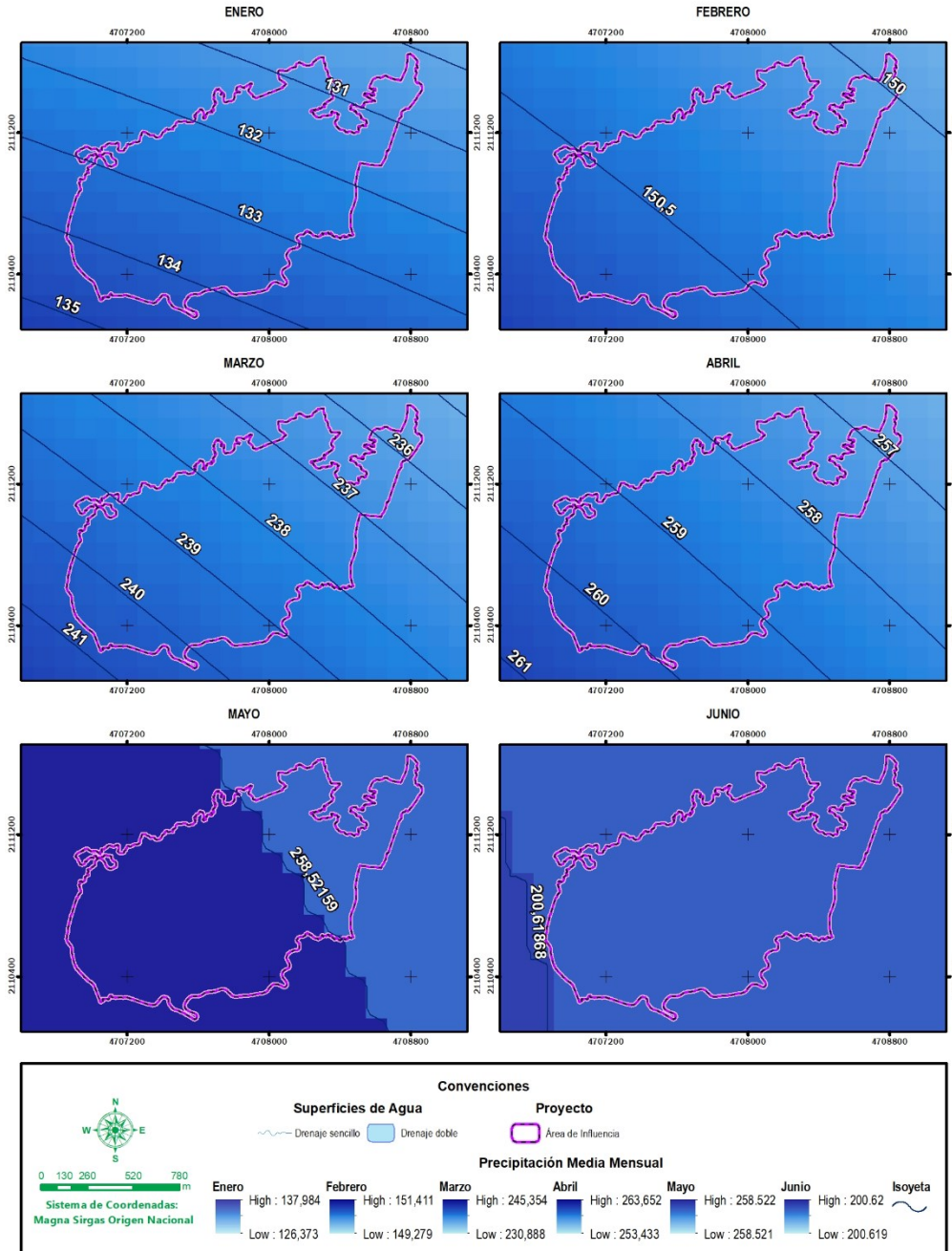
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2025.

En la Figura 3-22 y Figura 3-23 se presenta la distribución de lluvias para cada mes del año en el área de influencia de la Estación de Compresión de Gas Palestina (ECG) y en la

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	25
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-24 la distribución multianual de precipitaciones medias para el área de influencia del estudio.

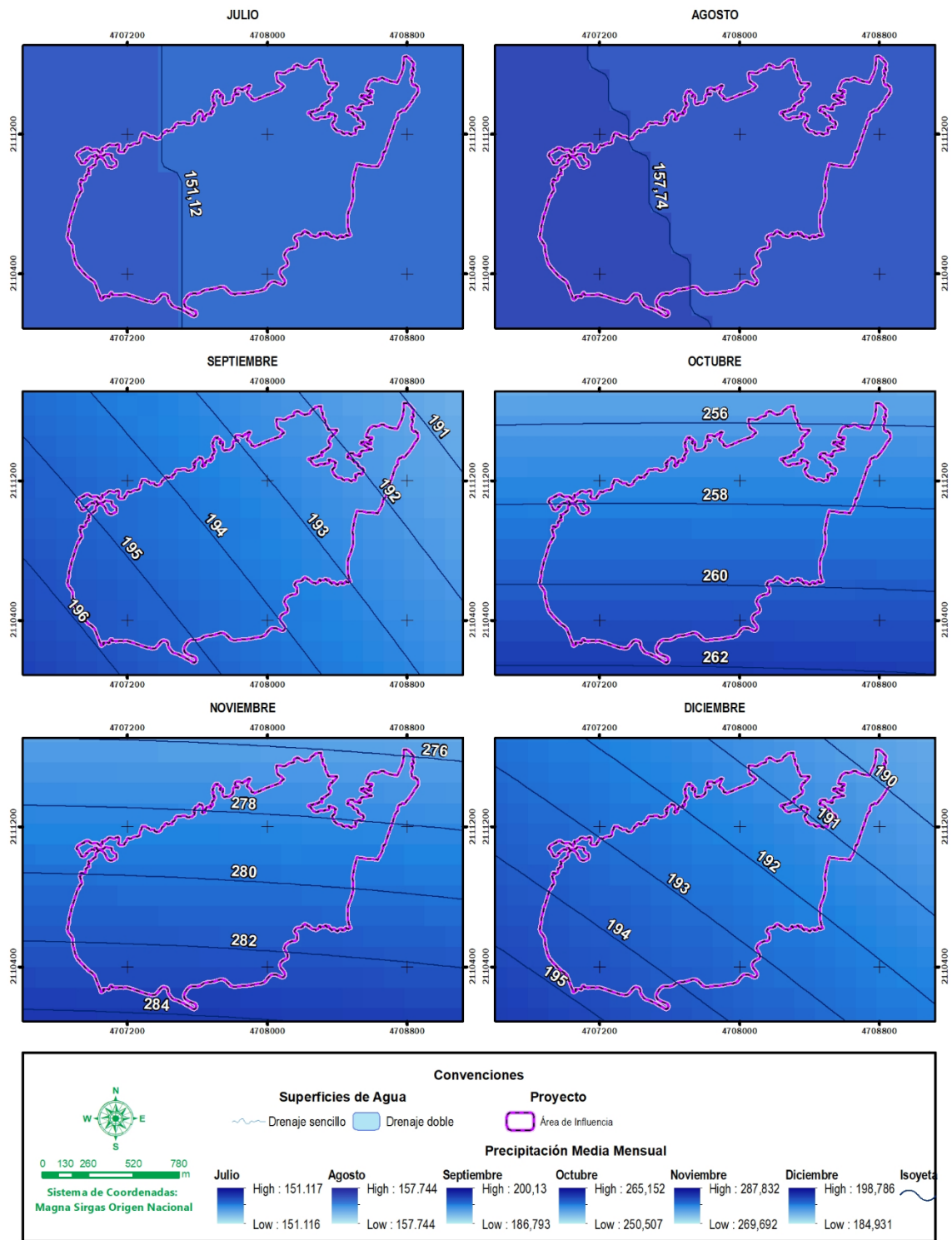
Figura 3-22 Disitribución de Precipitaciones medias e Isoyetas Enero a Junio



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	26
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

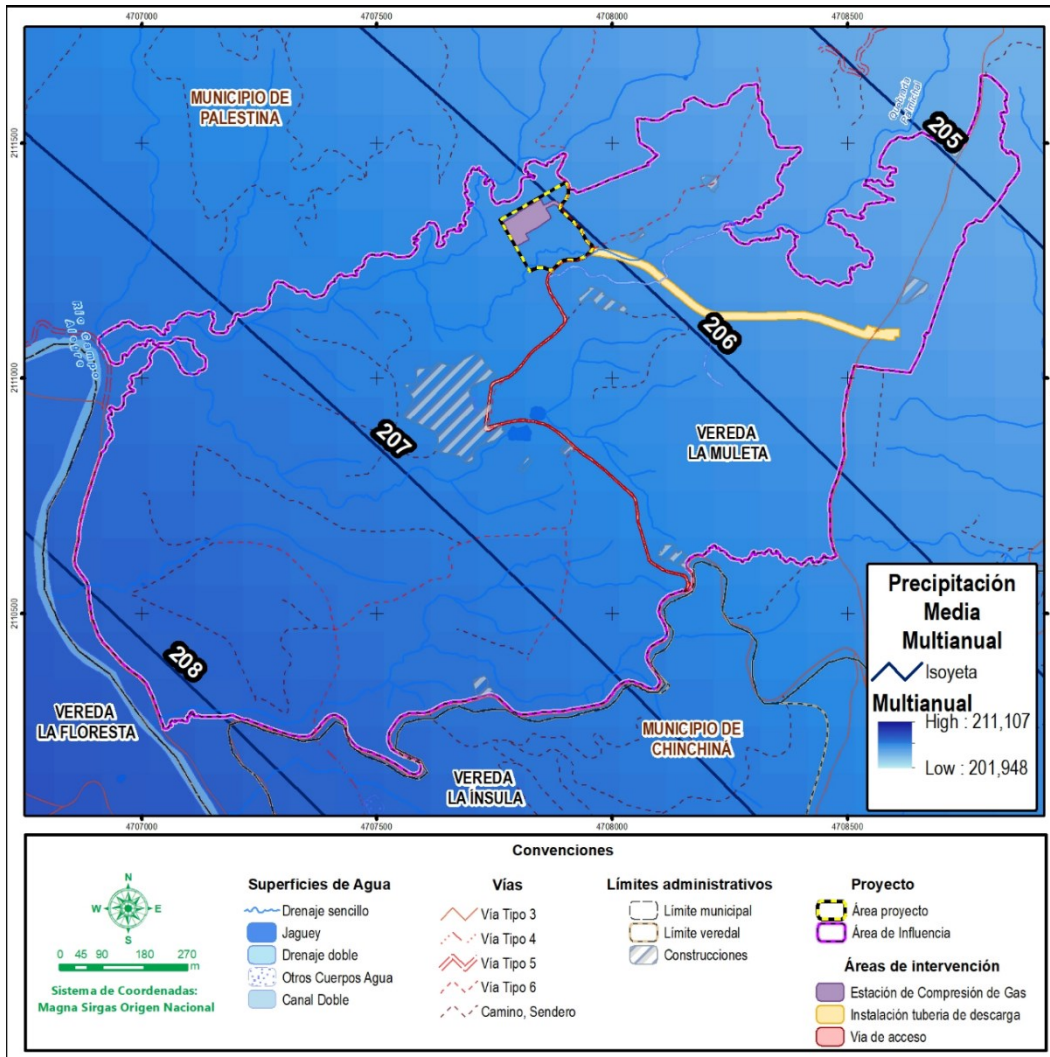
Figura 3-23 Disitribución de Precipitaciones medias e Isoyetas Julio a Diciembre



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	27
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-24 Disitribución precipitación promedio Multianual



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024,

3.2.9.1.4 Humedad relativa: media, máximas y mínimas mensuales.

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en un determinado volumen de aire y la cantidad máxima de vapor que este podría contener (sin saturarse) a una temperatura dada. Es una de las variables básicas de la meteorología, junto con la temperatura, la precipitación, el viento y la presión atmosférica.

Una humedad relativa del 100% indica que el aire está saturado, es decir, que ya no puede contener más vapor de agua. Por tal motivo, cualquier excedente de vapor provocará una

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	28
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

condensación, ya sea sobre partículas suspendidas en el aire (para formar nubes o nieblas) o sobre la superficie (para formar rocío o escarcha). En cambio, si la humedad relativa es, por ejemplo, del 60% significa que el aire contiene solamente el 60% vapor de agua máximo que puede llegar a contener.

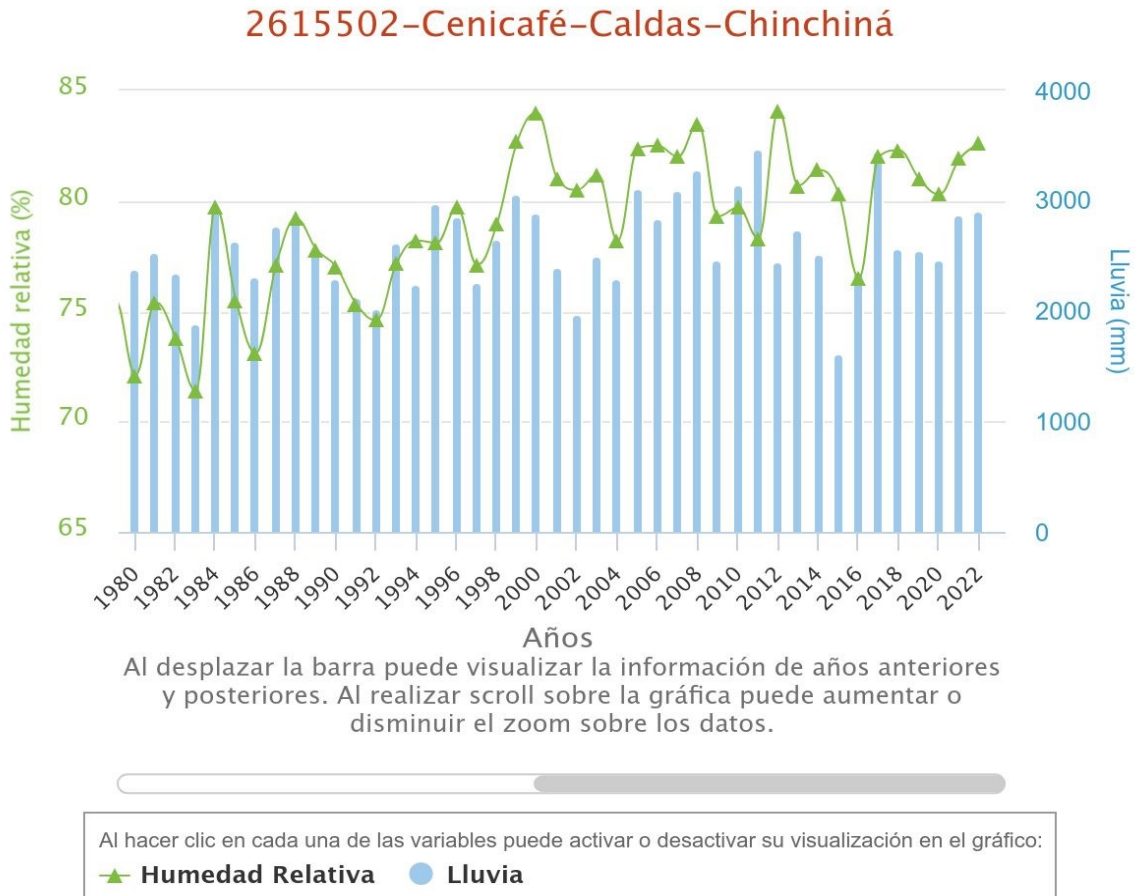
Por otra parte, es importante remarcar que la capacidad del aire para almacenar vapor de agua depende de su temperatura, de tal forma que, si esta aumenta, más vapor de agua podrá contener, y viceversa. Por este motivo, la humedad relativa del aire se considera siempre para una determinada temperatura.

Para el caso de estudio, las estaciones consultadas de la base de datos del IDEAM, no tienen información sobre este parámetro, por tal razón se consulta la información histórica contenida en la plataforma de Agroclima (CENICAFÉ, 2024), esta brinda la visualización del gráfico presentado en la Figura 3-25, en la que se muestran las precipitaciones totales anuales y la humedad relativa anual durante 42 años (1980-2022) de la Estación 2615502 Cenicafé, ubicada en Chinchiná, Caldas.

En esta gráfica se puede observar que la humedad relativa está por encima de los registros de precipitación, los años 2000 y 2012 presentaron los valores más altos de humedad relativa, cercanos al 85%.

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	29
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-25 Humedad Relativa vs Lluvia Estación 2615502 Cenicafé – Chinchiná, Caldas



Fuente: Cenicafé, (2024),

3.2.9.1.5 Velocidad y dirección del viento

Para este parámetro se usaron datos mensuales de NASA POWER (2024) para el periodo 2000 – 2022. En la Tabla 3-9 y Tabla 3-10 se muestran los datos de dirección y velocidad respectivamente, los cuales fueron graficados para obtener la rosa de vientos anual y mensual mostradas en la Figura 3-26 a Figura 3-38.

Elaboró: CONSGA S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	30
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-9 Datos dirección del viento en ° 2000 -2022

AÑO/ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL
2000	246,94	206,44	233,81	198,44	184,06	167,88	152,19	150,12	209,62	197,88	251,69	203,56	200,22
2001	140,19	133,44	171,31	148,38	180,69	136,31	148,31	130,38	192,44	226,75	241,31	249,31	174,90
2002	201,00	181,19	142,31	218,88	155,94	145,44	132,50	133,75	172,38	186,00	175,38	171,44	168,02
2003	132,88	160,19	217,31	204,38	167,62	174,19	154,44	157,81	195,44	231,75	237,00	226,31	188,28
2004	252,31	134,75	153,62	219,00	172,44	130,56	152,88	137,44	178,44	238,56	242,81	248,81	188,47
2005	243,00	135,44	240,44	181,69	213,38	171,56	148,88	162,88	192,31	249,06	263,19	261,62	205,29
2006	226,00	191,00	200,31	228,50	176,12	156,94	138,00	151,31	163,81	242,94	248,38	190,44	192,81
2007	137,19	103,25	184,75	217,06	205,06	147,69	159,56	188,69	178,12	246,00	236,12	265,62	189,09
2008	229,94	248,00	236,31	225,50	211,69	171,81	167,88	196,56	188,38	228,25	257,62	250,56	217,71
2009	229,31	216,94	233,25	207,19	189,69	163,50	139,50	167,31	163,56	224,50	243,12	208,62	198,87
2010	123,25	207,88	175,62	223,19	230,12	191,25	206,31	189,06	227,00	244,31	263,88	241,19	210,26
2011	218,44	238,00	252,00	246,56	222,50	182,94	170,75	173,81	177,12	257,00	261,88	232,25	219,44
2012	232,81	260,88	154,06	245,31	184,19	155,38	144,69	165,62	158,94	236,50	239,38	242,00	201,65
2013	178,38	236,12	212,19	226,88	227,62	162,00	149,75	172,50	179,75	205,56	263,88	237,00	204,30
2014	209,88	241,69	249,00	167,75	216,19	140,75	126,25	152,00	189,44	220,81	247,31	200,94	196,83
2015	140,88	199,25	243,38	164,25	152,44	131,94	146,19	149,81	156,25	196,25	220,19	141,19	170,17
2016	235,38	192,50	246,12	226,50	174,75	157,75	152,69	148,38	177,12	245,19	263,69	234,88	204,58
2017	247,44	261,94	259,81	193,81	223,69	193,94	155,31	179,56	198,25	195,94	267,31	244,69	218,47
2018	213,62	260,50	190,44	225,62	206,38	148,00	147,12	141,12	183,62	246,38	242,69	148,44	196,16
2019	144,00	207,00	194,06	236,12	203,75	147,25	144,50	146,12	186,50	208,69	251,81	201,94	189,31
2020	97,12	128,38	304,00	211,50	154,06	148,62	157,19	171,38	194,44	207,56	256,38	233,31	188,66
2021	164,00	234,75	241,19	192,94	177,19	158,06	139,56	189,19	182,69	233,69	264,44	281,94	204,97
2022	216,25	261,38	259,81	205,81	164,19	193,56	151,00	159,88	197,38	246,62	264,94	187,56	209,03

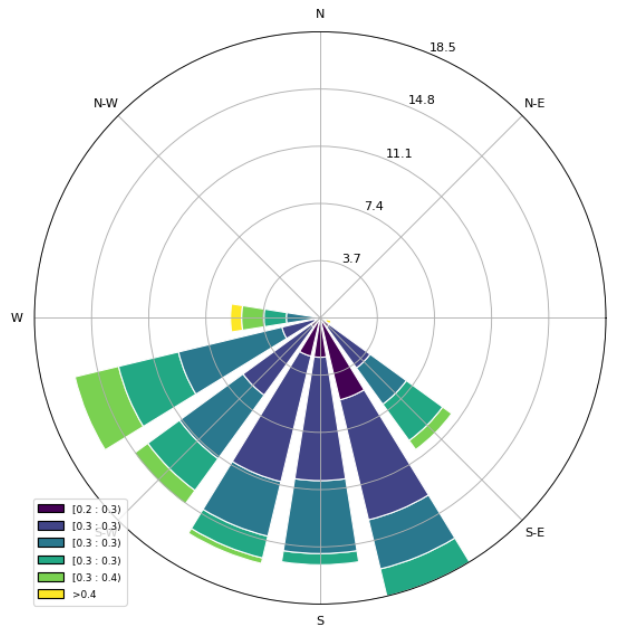
Fuente: POWER NASA, (2024).

Tabla 3-10 Datos velocidad del viento en m/s 2000 -2022

AÑO/ MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL
2000	0,32	0,25	0,25	0,27	0,23	0,23	0,27	0,29	0,28	0,29	0,31	0,32	0,27
2001	0,32	0,31	0,23	0,25	0,25	0,28	0,28	0,34	0,30	0,34	0,31	0,29	0,30
2002	0,31	0,27	0,26	0,26	0,30	0,30	0,28	0,34	0,30	0,30	0,27	0,30	0,29
2003	0,30	0,25	0,29	0,30	0,24	0,28	0,27	0,30	0,30	0,33	0,29	0,31	0,29
2004	0,30	0,27	0,23	0,28	0,26	0,32	0,27	0,33	0,30	0,32	0,30	0,28	0,29
2005	0,29	0,26	0,25	0,27	0,27	0,27	0,32	0,31	0,30	0,35	0,34	0,36	0,30
2006	0,27	0,27	0,23	0,28	0,25	0,29	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,26	0,28
2007	0,25	0,36	0,26	0,29	0,27	0,27	0,32	0,30	0,31	0,35	0,32	0,33	0,30
2008	0,30	0,28	0,28	0,30	0,27	0,27	0,28	0,27	0,32	0,30	0,35	0,35	0,30
2009	0,30	0,25	0,30	0,28	0,26	0,27	0,27	0,27	0,29	0,34	0,31	0,32	0,29
2010	0,31	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,28	0,27	0,29	0,33	0,36	0,30	0,30
2011	0,31	0,29	0,33	0,31	0,28	0,27	0,30	0,29	0,28	0,34	0,34	0,33	0,30
2012	0,33	0,31	0,27	0,27	0,23	0,27	0,25	0,28	0,30	0,35	0,30	0,30	0,29
2013	0,30	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,29	0,33	0,30	0,28
2014	0,30	0,29	0,30	0,25	0,27	0,26	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,27	0,29
2015	0,31	0,30	0,27	0,25	0,25	0,31	0,30	0,27	0,27	0,27	0,30	0,30	0,28
2016	0,31	0,27	0,27	0,27	0,23	0,26	0,25	0,25	0,27	0,31	0,33	0,27	0,27
2017	0,30	0,34	0,30	0,28	0,27	0,24	0,27	0,25	0,28	0,29	0,34	0,30	0,29
2018	0,28	0,30	0,27	0,27	0,23	0,23	0,24	0,33	0,30	0,34	0,30	0,30	0,28
2019	0,27	0,23	0,28	0,29	0,24	0,25	0,28	0,30	0,30	0,27	0,31	0,29	0,28
2020	0,34	0,33	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,29	0,31	0,34	0,34	0,30	0,30
2021	0,31	0,35	0,30	0,26	0,26	0,25	0,29	0,30	0,28	0,29	0,30	0,27	0,29
2022	0,30	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24	0,25	0,27	0,28	0,31	0,29	0,27	0,28

Fuente: POWER NASA, (2024).

Figura 3-26 Rosa de vientos anual

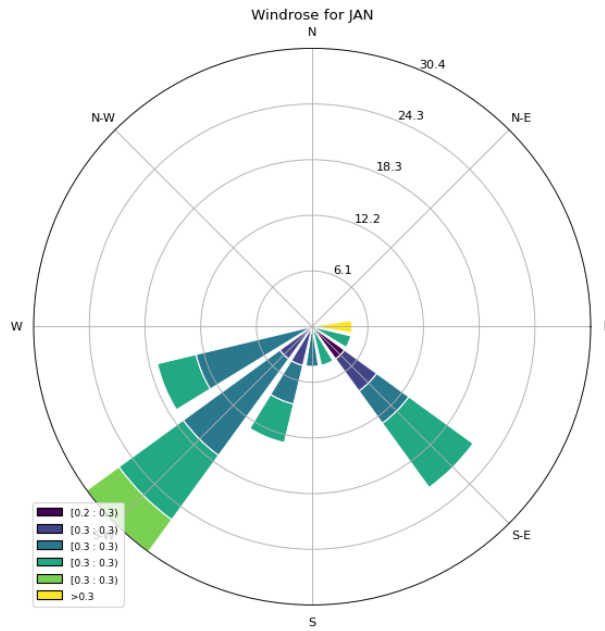


Fuente: POWER NASA, (2024)

La rosa de vientos muestra que las direcciones predominantes del viento son hacia el sur (S) y suroeste (SW), con algunas contribuciones notables hacia el oeste (W). Las barras más largas en estas direcciones indican que son las más comunes. En cuanto a la velocidad del viento, el gráfico se divide en anillos concéntricos que representan diferentes velocidades, desde 0 m/s en el centro hasta más de 18.5 m/s en el borde exterior, lo que indica que los vientos más frecuentes se encuentran generalmente por debajo de los 11 m/s. Además, las barras están coloreadas de acuerdo con la leyenda, donde el púrpura representa los vientos más suaves (0.2-0.3 m/s) y el verde claro y amarillo muestran vientos más fuertes, destacando que los vientos de velocidad moderada (entre 0,3 y 0,4 m/s) son más comunes en las direcciones sur y suroeste.

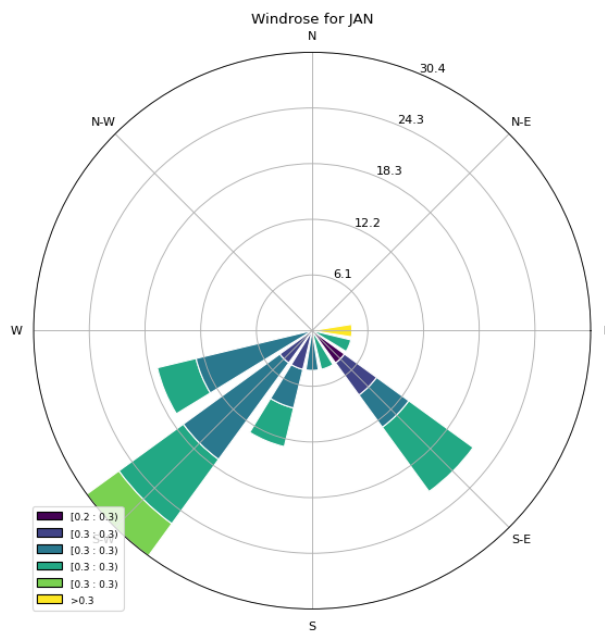
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	33

Figura 3-27 Rosa de vientos mes de enero



Fuente: POWER NASA, (2024)

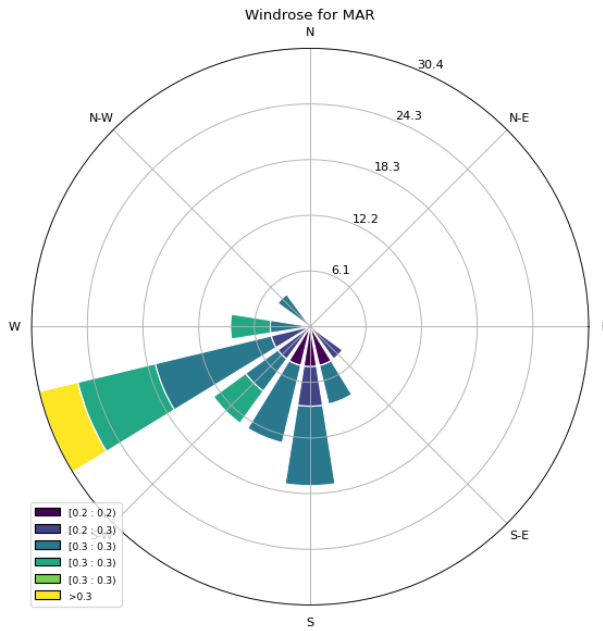
Figura 3-28 Rosa de vientos mes de febrero



Fuente: POWER NASA, (2024)

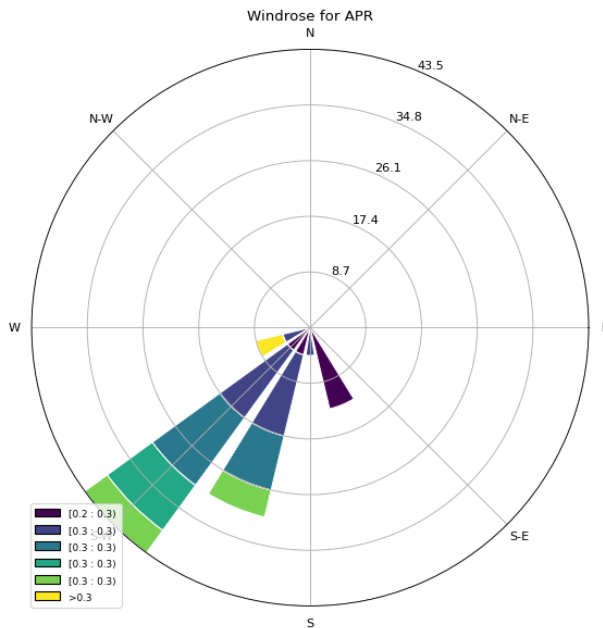
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	34
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-29 Rosa de vientos mes de marzo



Fuente: POWER NASA, (2024)

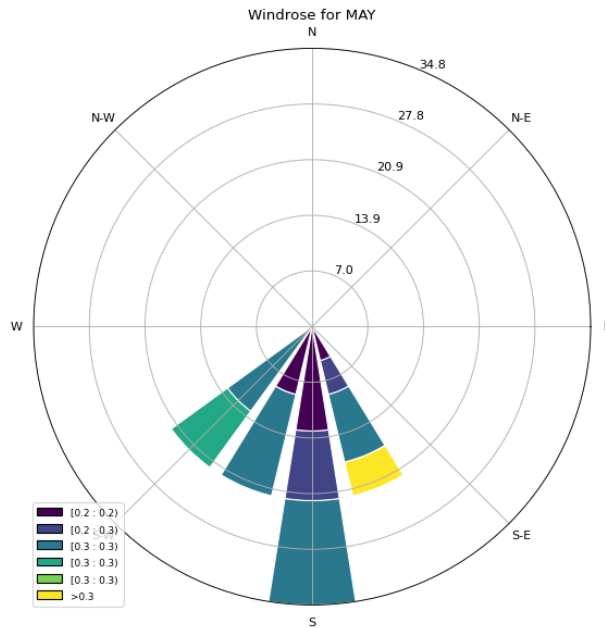
Figura 3-30 Rosa de vientos mes de abril



Fuente: POWER NASA, (2024)

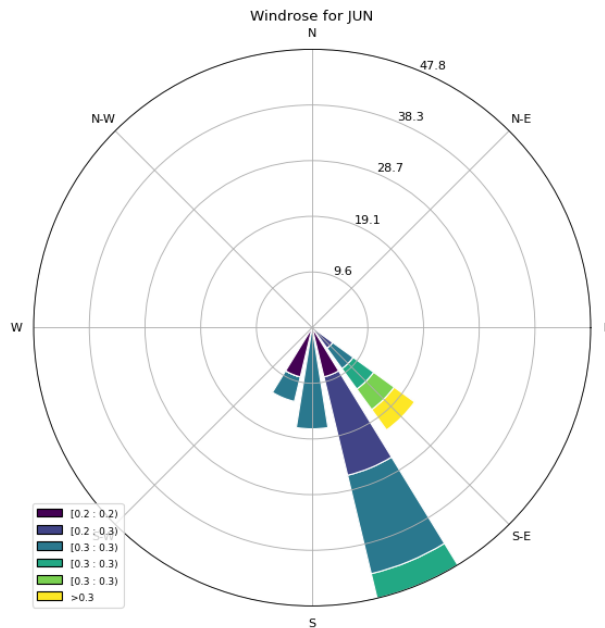
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	35

Figura 3-31 Rosa de vientos mes de mayo



Fuente: POWER NASA, (2024)

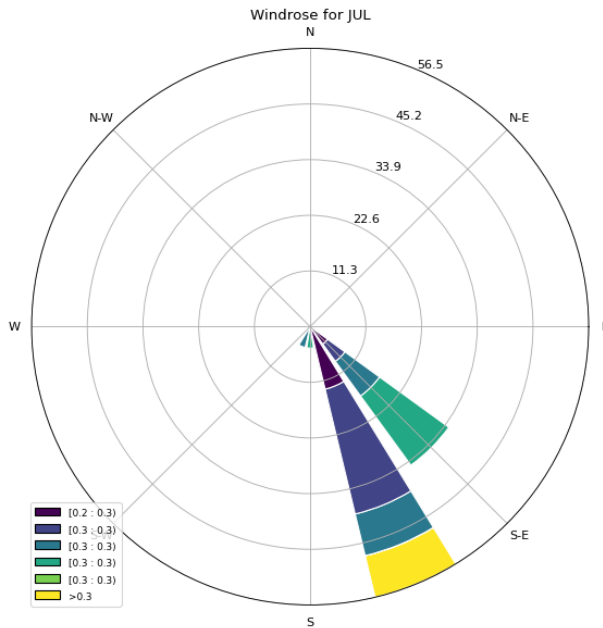
Figura 3-32 Rosa de vientos mes de junio



Fuente: POWER NASA, (2024)

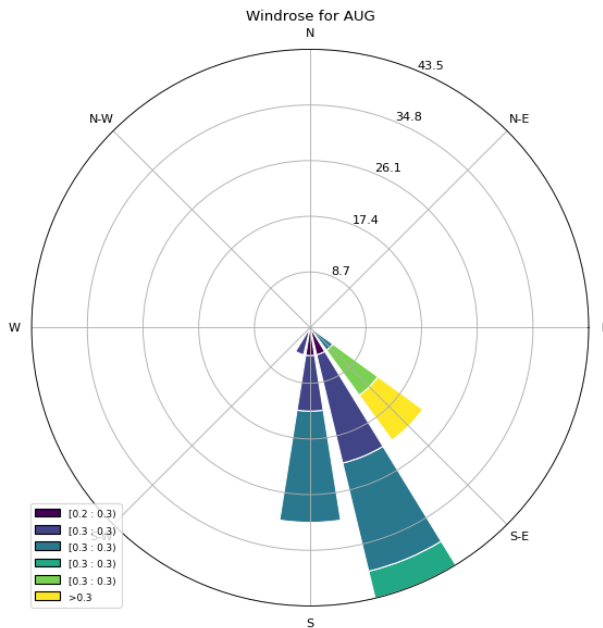
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	36
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-33 Rosa de vientos mes de julio



Fuente: POWER NASA, (2024)

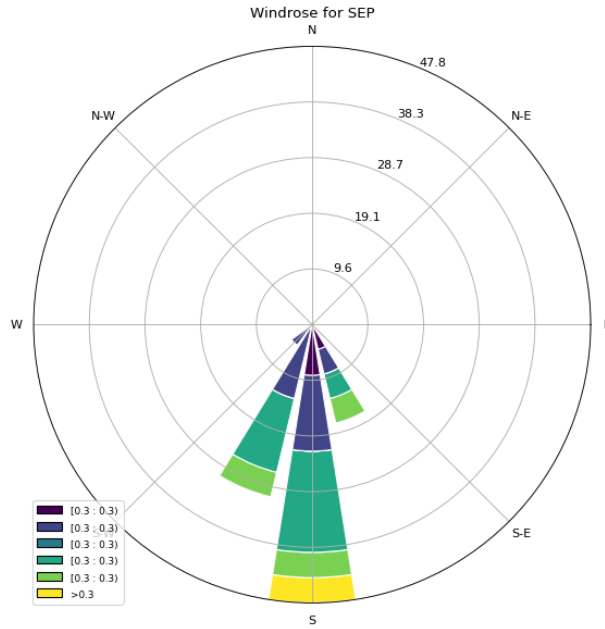
Figura 3-34 Rosa de vientos mes de agosto



Fuente: POWER NASA, (2024)

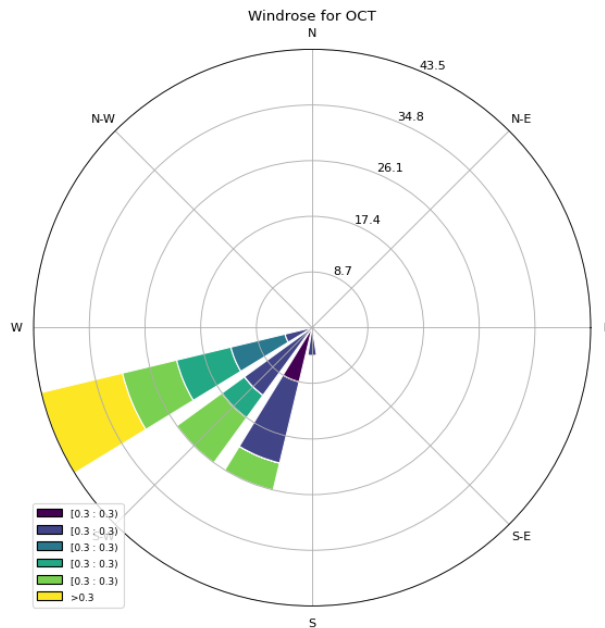
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	37
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-35 Rosa de vientos mes de septiembre



Fuente: POWER NASA, (2024)

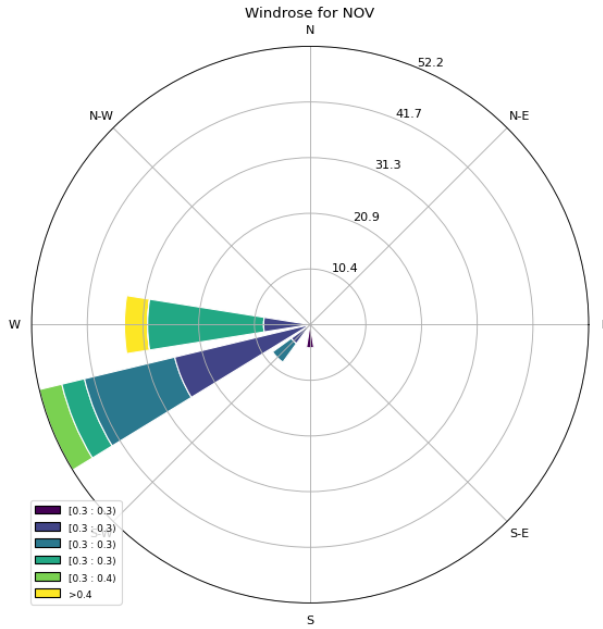
Figura 3-36 Rosa de vientos mes de octubre



Fuente: POWER NASA, (2024)

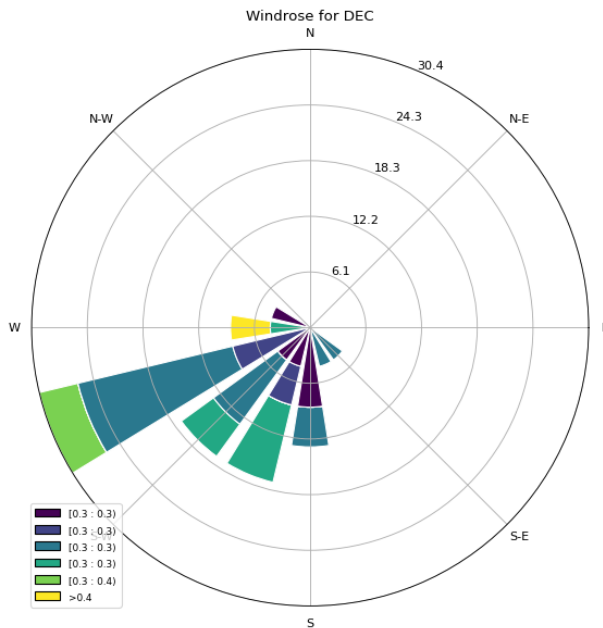
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	38
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-37 Rosa de vientos mes de noviembre



Fuente: POWER NASA, (2024)

Figura 3-38 Rosa de vientos mes de diciembre



Fuente: POWER NASA, (2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	39
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

3.2.9.1.6 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar (IDEAM, 2024).

El sol emite energía en forma de radiación de onda corta, después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

- Radiación solar extraterrestre: es la radiación solar diaria que se recibe sobre un superficial horizontal situada en límite superior de la atmósfera, el valor se define a partir del valor de la constante solar.

Para asignar el valor correspondiente a la radiación solar extraterrestre se utiliza la tabla de “Radiación Solar Extraterrestre” de Allen et al. (1998) la cual muestra la distribución de radiación para cada mes del año y dependiendo de la Latitud, (ver Figura 3-39).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	40
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Figura 3-39 Radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	11.1	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: Román, 2022.

Este parámetro es importante en el cálculo de evapotranspiración potencial (ETP) que será explicado a continuación.

3.2.9.1.7 Evapotranspiración

3.2.9.1.7.1 Evapotranspiración Potencial (ETP)

Es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas cuando el suelo se encuentra con un contenido óptimo de humedad (capacidad de campo), cubierto por completo con un manto herbáceo de poca altura (5cm), en activo crecimiento y cuyo albedo sea aproximadamente de un 25%. A partir de datos diarios de temperatura, se aplicó la ecuación de Hargreaves (1994), en la que se adecuaron las constantes para que se ajustaran mejor a las características del territorio nacional (IDEAM, 2017).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	41

$$ETP = 0,0023 (T_{med} + 17,78)R_o(T_{max} - T_{min})^{0,5}$$

Donde:

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

Tmin-media-max: temperatura mínima, media y máxima (°C)

Ro: radiación extraterrestre expresada en evaporación equivalente (mm)

3.2.9.1.7.2 Evapotranspiración real (ETr)

Es la cantidad de agua perdida por el complejo planta suelo en las condiciones meteorológicas, edafológicas y biológicas existentes, (IDEAM, 2017), Esta evapotranspiración es estimada con la ecuación de Budyko, la cual transforma los valores potenciales a reales a partir de un balance hídrico anual y se define mediante la siguiente expresión (IDEAM, 2022): Esta evapotranspiración es estimada con la ecuación de Budyko, la cual transforma los valores potenciales a reales a partir de un balance hídrico anual y se define mediante la siguiente expresión (IDEAM, 2022):

$$ETR = \sqrt{\left(ETP * P * \tanh \frac{P}{ETP}\right) * \left(1 - \cosh \frac{ETP}{P} + \sinh \frac{ETP}{P}\right)}$$

Donde:

ETR: evapotranspiración real (mm/año)

ETP: evapotranspiración potencial (mm/año)

P: precipitación (mm/año)

En la Tabla 3-11, se presentan los parámetros calculados para el área de influencia de la Estación de Compresión de Gas (ECG) (Ver ANEXOS\I. HIDROLOGÍA Y CLIMA\1. Hidrología\1.3 ETP y ETR).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	42
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-11 Cálculo de ETP y ETr

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
*Tmax	24,9	25,7	26	25	23,6	23,2	23,5	23,4	24,4	24,4	23,4	23,6	26
*Tmed	16,5	16,9	17	17	16,8	16,2	16	16,2	16,3	16,2	16,3	16,4	16,5
*Tmin	7,7	6,5	8,8	9,4	9,8	8,5	8,1	8,3	8,4	8,4	9,3	8,4	6,5
Ro	14,1	14,9	15,3	15,3	14,7	14,3	14,4	14,9	15,2	14,9	14,2	13,8	14,7
**ETP	143,3	150,9	157,0	144,7	134,5	128,5	135,8	140,7	142,9	144,8	125,5	131,2	1.679,9
**PPT	175,5	205,6	292,4	307,6	311,2	280,2	229,5	229,1	231,8	266,1	282,2	221,0	3.032,2
**Etr	122,3	128,7	133,9	123,4	114,7	109,6	115,8	120,0	121,8	123,5	107,0	111,9	1432,7

*°C, ** mm/mes

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024,

Dadas las condiciones de precipitación y temperatura que se presentan en la zona, la Evapotranspiración Potencial y Evapotranspiración Real, en este caso corresponden a un valor anual de **1679,9** y **1442,7** mm/año respectivamente, siendo correlacionable con lo evidenciado en campo en cuanto a las condiciones de humedad, la vegetación y el tipo de suelo que se encuentra en el área.

3.2.9.1.8 Nubosidad

Para el caso de la nubosidad no se encontraron registros medidos por las estaciones que opera el IDEAM, por lo que se realizó consulta de la información satelital de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés).

La NASA, a través del aplicativo AppEEARS, recopila y presenta el comportamiento de diferentes variables meteorológicas en todas las zonas del mundo para diferentes escalas de tiempo; en ese sentido, se consultaron datos para el área de estudio de la capa MYD11A1 para un periodo 2000 -2023, sin embargo, esta fuente tiene datos desde 4 de julio de 2002.

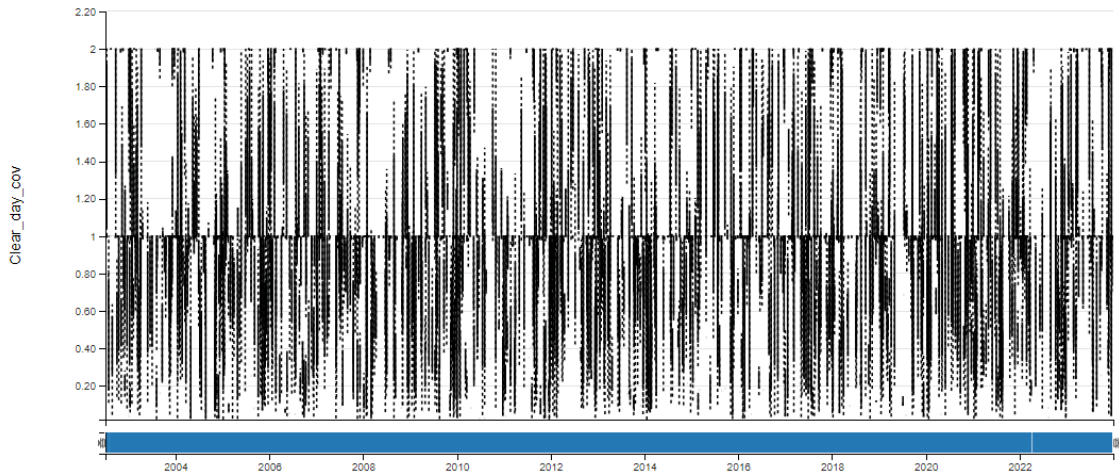
Los datos recopilados corresponden a valores normalizados entre el rango de 0 a 2, donde valores cercanos a 0 indican mayor cantidad de pixeles con nubes y valores cercanos a 2 menor cantidad de pixeles con nubes. La Figura 3-40 muestra la distribución a través del tiempo de los datos analizados, donde se evidencia patrones cíclicos correspondientes al

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	43

régimen bimodal de precipitaciones identificado en el numeral 3.2.9.1.3. siendo estos más evidentes en la Figura 3-41, la cual muestra un ejemplo de estacionalidad en el año 2005.

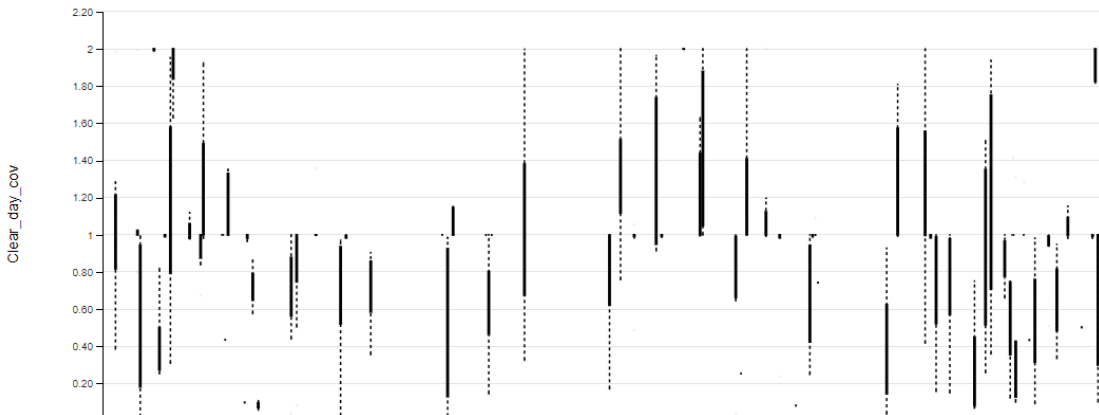
También se identifica mucha variabilidad en los datos debido a patrones climáticos por ejemplo fenómenos niño y niña, a modo de ejemplo en la Figura 3-42 se muestra la nubosidad para el año 2017.

Figura 3-40 Nubosidad diurna para el periodo 2002 a 2023



Fuente: NASA, (2024).

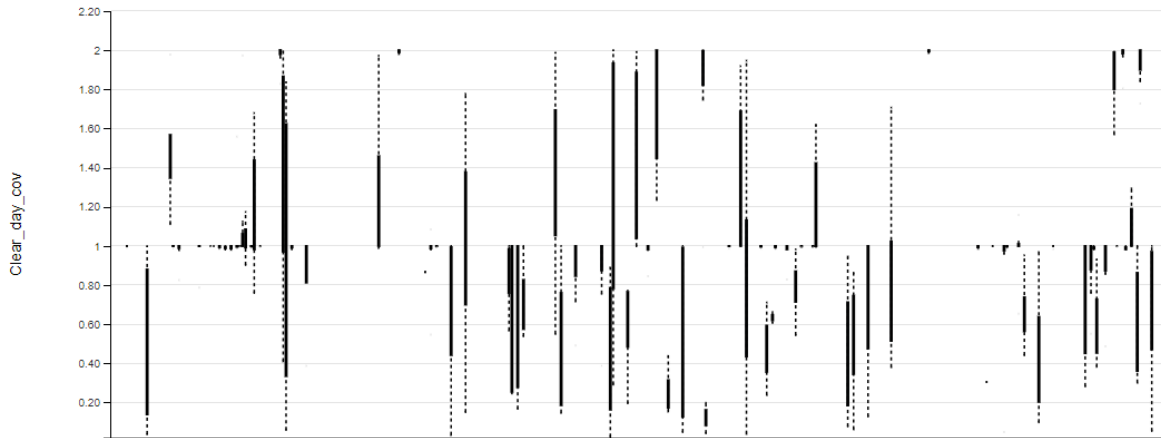
Figura 3-41 Nubosidad para el año 2005



Fuente: NASA, (2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	44

Figura 3-42 Nubosidad para el año 2017



Fuente: NASA, (2024).

3.2.9.1.9 Clasificación climática

Con el fin de establecer la clasificación climática para el área de influencia del estudio de impacto ambiental para la “modificación de licencia para la construcción de la estación de compresión de Gas Palestina (ECG)”, se toma la información climatológica anteriormente descrita y se sobrepone a los parámetros establecidos en la metodología Caldas y Lang (IGAC, 2014); la cual se describe brevemente a continuación:

- Clasificación Climática según Caldas-Lang

La clasificación establecida por Caldas y aplicada al trópico americano, se basó en la temperatura, pero con respecto a su variación altitudinal y no latitudinal, en tanto, Lang, fijó los límites de su clasificación teniendo en cuenta una sencilla relación entre la precipitación total anual y la temperatura media.

En 1962, Schaufelber unificó e implementó el sistema Caldas-Lang, el cual utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación, que muestra la humedad (IGAC, 2014).

Tabla 3-12 Clases de Clima según Caldas

PISO TÉRMICO	RANGO DE ALTURA (msnm)	TEMPERATURA (°C)
Cálido	0-1.000	>24,0
Templado	1.001-2.000	17,6 – 24,0
Frío	2.001-3.000	12,1 – 17,5

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	45

PISO TÉRMICO	RANGO DE ALTURA (msnm)	TEMPERATURA (°C)
Páramo bajo	3.200-3.700	7,1 – 12,0
Páramo alto	3.701-4.200	<7,0

Fuente: (IGAC, 2014)

Tabla 3-13 Clases de Clima según Lang

COEFICIENTE (P/T)	CLASES DE CLIMA
0,0 -20,0	Desértico
20,1 – 40,0	Árido
40,1 - 60,0	Semiárido
60,1 – 100,0	Semihúmedo
100,1 – 160	Húmedo
160	Superhúmedo

Fuente: (IGAC, 2014)

A partir de las Tabla 3-12 es posible establecer en que piso térmico se encuentra el área de influencia de la ECG, dando lugar a un piso térmico “Templado” debido a que se encuentra en una altitud promedio de 1.345,6 msnm y su temperatura media es de 16,5°C. Además de acuerdo con la Tabla 3-13,, con base en el coeficiente de humedad (P/T), el clima es super húmedo.

Con base a estas dos clasificaciones, se tiene como resultado la categoría de *Templado Muy Húmedo (TMH)* de la metodología Lang-Caldas. En la Tabla 3-14, se presentan los parámetros que se tuvieron en cuenta para esta clasificación y se presentan en la Figura 3-43.

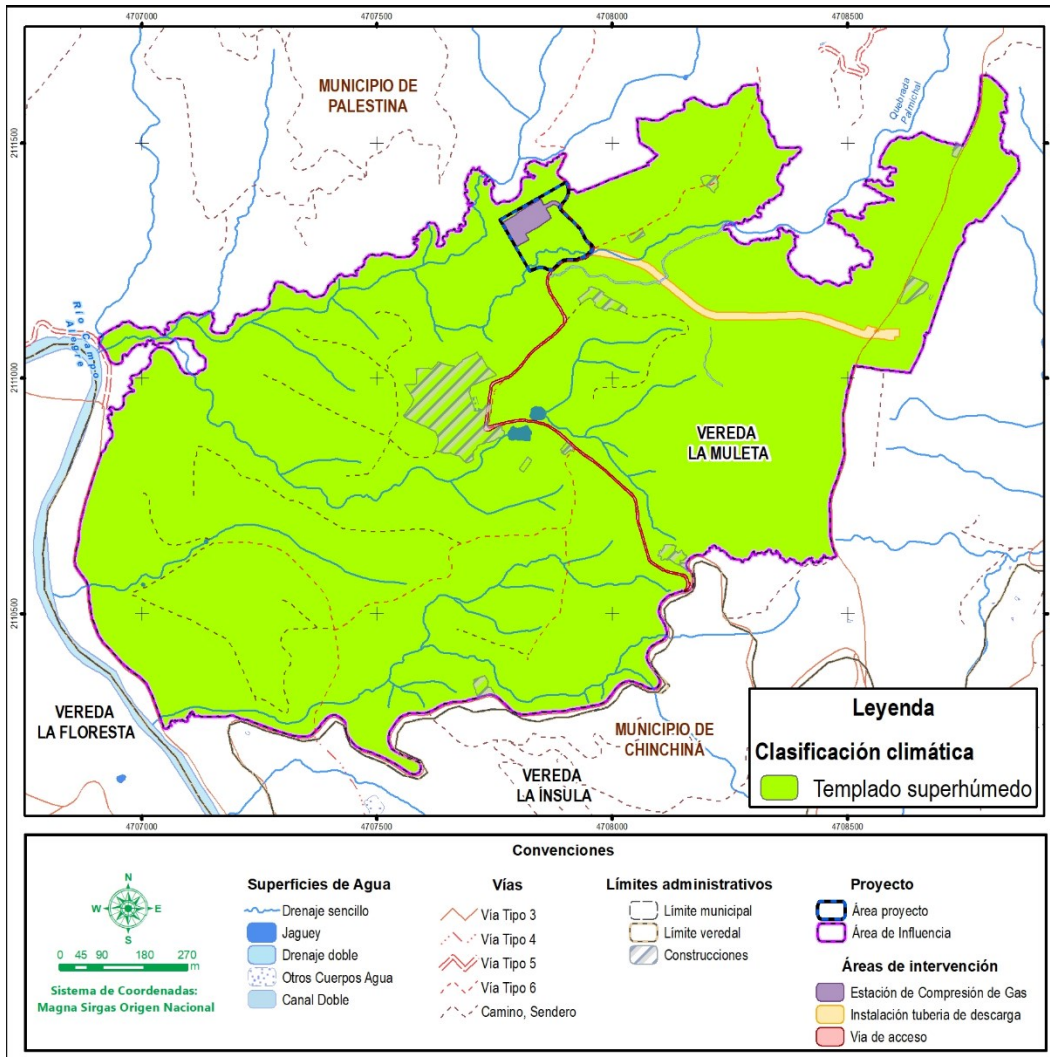
Tabla 3-14 Clasificación Climática Caldas-Lang para la ECG Palestina

PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (mm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	GRADO DE HUMEDAD (P/T)	CLASIFICACIÓN (Lang)	ALTURA (msnm)	CLASIFICACIÓN PISO TÉRMICO (Caldas)	TIPO CLIMÁTICO
3117,05	16,5	188,9	Super húmedo	1345,6	Templado	Templado Super húmedo

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	46

Figura 3-43 Clasificación climática Caldas-Lang



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

3.2.9.1.9.1 Balace Hídrico

Se denomina balance hídrico al principio de conservación de las masas, definiendo la entrada y salida de agua de una cuenca o lugar determinado, por tanto, el balance hídrico establece el déficit, almacenamiento o exceso de agua que se puede presentar en un área determinada para definir la clasificación climática, hidrológica o hidráulica.

Para calcular el balance hídrico del área de influencia de la ECG, se utilizó la metodología planteada por Thornthwaite, la cual tiene en cuenta la evapotranspiración presentada

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	47

anteriormente, la precipitación media registrada en la estación, y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Escorrentía).

En la Tabla 3-15 se presenta el Balance Hídrico para el área de influencia de la Estación de Compresión de Gas (ECG) Palestina (ECG).

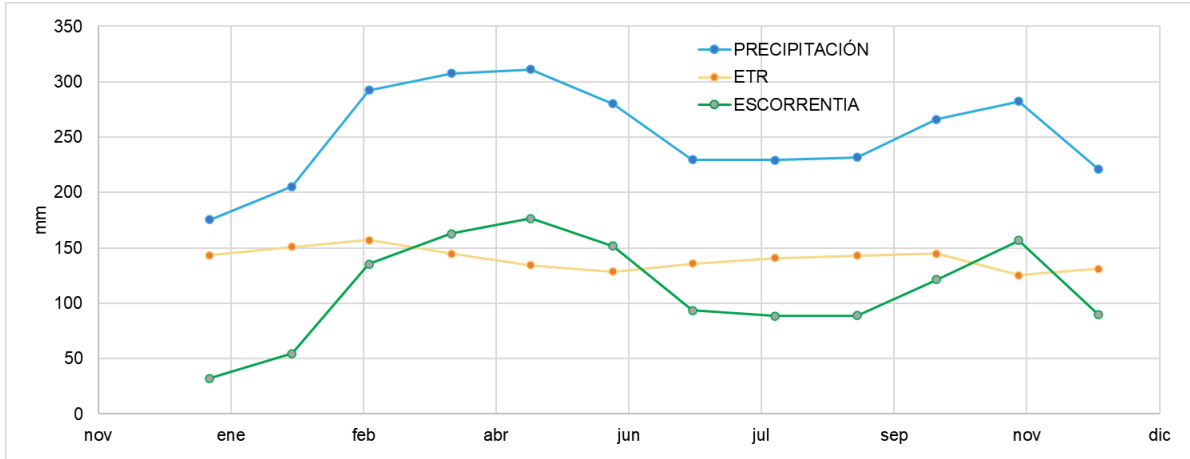
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	48
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-15 Balance Hídrico Área de Influencia ECG

VARIABLE	BALANCE HÍDRICO MENSUAL												ANUAL
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA /MEDIA
T (Temperatura)	16,51	16,85	16,99	16,98	16,75	16,22	15,97	16,19	16,34	16,23	16,25	16,37	16,47
ETP (Evapotranspiración Potencial)	143,35	150,90	157,04	144,70	134,50	128,50	135,80	140,67	142,85	144,82	125,49	131,24	1679,85
P (Precipitación)	175,50	205,60	292,40	307,60	311,20	280,20	229,50	229,10	231,80	266,10	282,20	221,00	3032,20
P-ETP (Precipitación efectiva)	32,15	54,70	135,36	162,90	176,70	151,70	93,70	88,43	88,95	121,28	156,71	89,76	
R (Reserva del suelo)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
VR (Variación de la reserva)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR (Evapotranspiración Real)	143,35	150,90	157,04	144,70	134,50	128,50	135,80	140,67	142,85	144,82	125,49	131,24	1679,85
Fi (Falta de agua)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EX Exceso de Agua (Escorrentía) (Q)	32,15	54,70	135,36	162,90	176,70	151,70	93,70	88,43	88,95	121,28	156,71	89,76	1352,35
D Desagüe (50%)	71,52	63,11	99,23	131,07	88,35	120,02	106,86	97,65	93,30	107,29	132,00	110,88	1221,28
CAUDAL MEDIO MENSUAL (l/s)													
Campo Alegre	147,06	129,77	204,06	269,52	181,67	246,81	219,75	200,79	191,85	220,62	271,44	228,01	206,41
Comeguadua	372,21	328,44	516,46	682,14	459,81	624,65	556,17	508,20	485,57	558,39	687,00	577,08	522,42
Palmichal	86,36	76,21	119,83	158,27	106,69	144,93	129,04	117,91	112,66	129,56	159,40	133,90	121,21

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Figura 3-44 Balance Hídrico Palestina



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

De acuerdo con los resultados presentados, y como se observa en la Figura 3-44, la relación Precipitación – Evapotranspiración, indica que no se presenta déficit hídrico en el área de estudio, existiendo excedentes en todos los meses del año, alcanzando su valor máximo en el periodo marzo – junio y el valor mínimo en enero.

3.2.9.2 Calidad del Aire

3.2.9.2.1 Inventario de emisiones

Tomando en consideración la legislación colombiana aplicada a la calidad del aire, como la Resolución 2254 de 2017 y el protocolo para el monitoreo y seguimiento de calidad del aire, expedidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (en adelante MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, las fuentes de emisiones atmosféricas se categorizan y se definen de la siguiente manera:

- Fuente fija: Son las fuentes que se encuentran en un espacio determinado e inamovible, esto independientemente de si la descarga ocurre de manera dispersa o puntual.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	50

- Fuente fija puntual: Son fuentes que generan la descarga de gases contaminantes por medio de ducto o chimeneas, esto debido a la magnitud de las emisiones producto de sus procesos productivos, tal es el caso de las industrias, esto siempre y cuando se encuentre un solo foco de descarga, ya que en el caso de que exista un agrupamiento de descargas de magnitud leve se considerara como fuentes difusas.
- Fuentes Fijas Lineales: En estas fuentes se consideran las vías y en especial aquellas que se encuentran en mayoría sin pavimentar ya que flujo vehicular sobre ellas genera resuspensión de partículas sólidas en la atmosfera.
- Fuente fija dispersa o difusa: En este caso la fuente de emisión se dispersa dentro de un área por causa del desplazamiento de esta, tal es el caso de las quemas controladas, las canteras, las plantas de tratamiento de agua, entre otros.
- Fuentes móviles: Estas se caracterizan por no tener una ubicación fija, es decir, que es imposible de puntualizar y definir dado a su carácter de traslado constante, este tipo de fuentes está constituido por motos, automóviles, camiones, autobuses y equipos que posean el medio para trasladarse de forma constante.
- Fuente Naturales: Se consideran fuentes naturales las biogénicas y los volcanes en actividad por la resuspensión del polvo.

Para el caso particular de este estudio, y de acuerdo con el monitoreo realizado de 11 al 29 de junio del 2024 por MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, laboratorio acreditado por el IDEAM mediante la resolución de renovación y extensión 1849 del 26 de agosto de 2022, las principales fuentes de contaminación del aire hacen referencia a: Fuentes Fijas, Dispersas o Difusas, y Móviles, resaltando que el personal técnico de campo determinó que las fuentes lineales (vías) se encuentran incluidas en las fuentes dispersas o difusas.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	51
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

3.2.9.2.1.1 Fuentes Lineales y Móviles en el área de influencia

Las vías, se incluyen dentro de esta clasificación, puesto que en el área del proyecto las vías se encuentran sin pavimentar y cuando un vehículo transita en una carretera sin pavimentar, la fricción de las llantas contra la superficie del camino causa pulverización del material en la superficie. Las partículas son levantadas y lanzadas a través de las ruedas y la superficie del camino es expuesta a fuertes corrientes de aire. La turbulencia levantada detrás del vehículo continúa en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado (MCS, 2024).

3.2.9.2.1.2 Fuentes Fijas en el área de influencia

Según lo observado durante la realización de la campaña de monitoreo, se establece que las principales fuentes fijas de emisión corresponden a los equipos utilizados en la actividad de la Estación de Compresión de Gas (MCS, 2024).

3.2.9.2.2 Potenciales receptores

Se consideran como potenciales receptores los asentamientos, centros educativos e infraestructura del área de estudio para la modificación de licencia de la Estación de Compresión de Gas Palestina (ECG). Teniendo en cuenta anterior y de acuerdo con el modelo de calidad del aire ubicado en *ANEXOS\K. MODELACIONES\1.Aire*, se identificaron 9 receptores sensibles, ubicados bajo las coordenadas de la Tabla 3-16 y como se muestra en la Figura 3-45.

Tabla 3-16. Receptores Sensibles

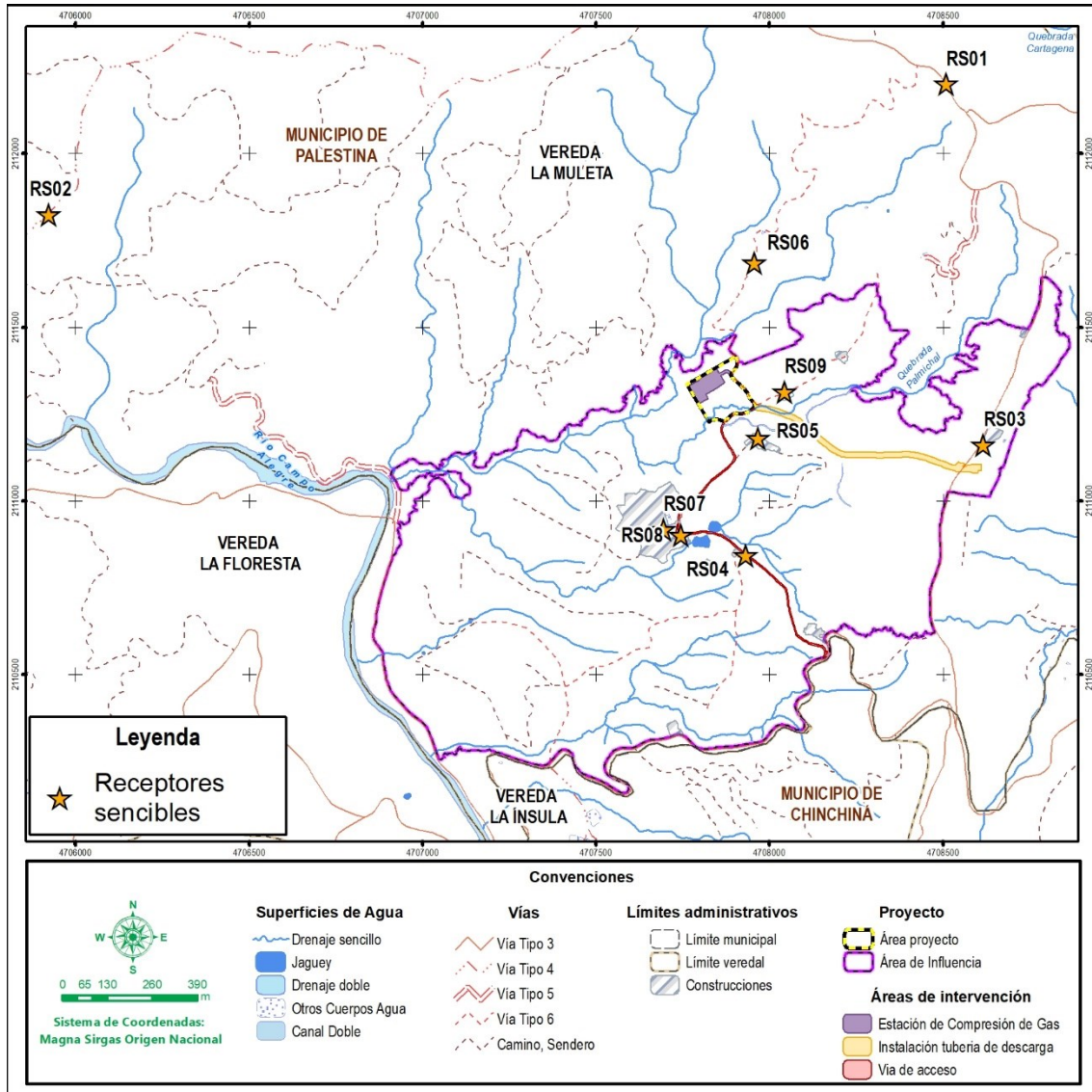
ID	Nombre	Este	Norte	Localización
RS01	Escuela La Merced	4.708.509,3	2.112.200,9	611 m del AI*
RS02	Escuela El Salado	4.705.922,8	2.111.824,9	1.233 m del AI*
RS03	Condominio Las Palmas	4.708.616,5	2.111.161,6	Dentro del AI*
RS04	Casa Insula	4.707.931,0	2.110.844,5	Dentro del AI*
RS05	El aplique la Insula	4.707.966,5	2.111.182,3	Dentro del AI*
RS06	Hacienda La Merced	4.707.956,3	2.111.685,5	165 m del AI*
RS07	Mayoría La Insula	4.707.694,8	2.110.918,3	Dentro del AI*
RS08	vivienda La Insula	4.707.745,3	2.110.901,5	Dentro del AI*
RS09	Vivienda La Merced	4.708.042,8	2.111.314,2	Dentro del AI*

AI: Área de Influencia del estudio

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	52

Figura 3-45 Receptores Sensibles



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	53

3.2.9.2.3 Monitoreo de calidad de aire

La calidad del aire se puede definir como el estado de la concentración de los compuestos en la atmósfera en un periodo y lugar determinados (Instituto Nacional de Ecología, 2013), razón por la cual se determinan algunos contaminantes criterio tales como: PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, SO₂, CO y HCT, que son evaluados a través de los monitoreos de calidad del aire en donde se mide la concentración por métodos analíticos, teniendo en cuenta que las concentraciones y la dispersión de las sustancias en la atmósfera dependen de las condiciones meteorológicas, por consiguiente es necesario determinarlas para la zona de estudio, de las cuales, la dirección del viento cobra especial importancia por ser un factor determinante para ubicar las estaciones de monitoreo que se posicionan hacia la dirección predominante del viento.

Así las cosas, para este caso, dicho monitoreo fue llevado a cabo por MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, realizado del 11 al 28 de junio de 2024, bajo las condiciones que se presentan a continuación, los resultados del monitoreo se encuentran en *ANEXOS\J. MONITOREOS\3 Aire*.

3.2.9.2.3.1 Condiciones Meteorológicas

Los valores de las condiciones meteorológicas se toman utilizando una estación que cuenta con las siguientes características en sus sensores (Tabla 3-17).

Tabla 3-17 Información de la estación meteorológica empleada

MODELO	Vantage Pro 2		
	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	4708575 E	2111073 N
SENSOR	RANGO	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN
SENSOR TEMPERATURA	-40°C – 65°C	± 0,5 °C	0,1°C
SENSOR PRECIPITACIÓN	0 – 6553 mm	± 4%	0,2 mm
SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO	1 – 80 m/s 0° - 360°	± 5% 3°	0,1 m/s 1°
SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA	1% - 100%	± 5%	0,01
SENSOR DE PRESIÓN BAROMÉTRICA	410 – 820 mmHg	0,8 mmHg	0,1 mmHg

Fuente: (MCS, 2024)

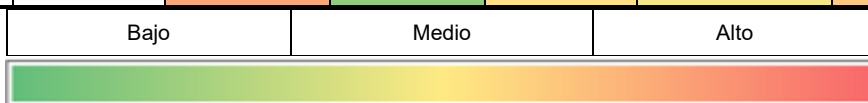
De la estación descrita anteriormente, se obtiene la información de la Tabla 3-18, en la cual hay una semaforización que aplica los colores verdes para los valores menores y va escalando hacia al rojo a medida que estos aumentan en cada variable. Al analizar estos

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	54

valores, se evidencia que la precipitación y la temperatura actúan de manera inversa, lo mismo ocurre en el caso de la humedad y la temperatura, esto dado que la humedad tiene una correlación directa con la precipitación, mientras que presión barométrica tiene un valor constante la mayor parte del tiempo (MCS, 2024).

Tabla 3-18 Resumen información meteorológica

DÍA	FECHA	T° AMBIENTE °C	HUMEDAD RELATIVA %	VELOCIDAD DEL VIENTO m/s	PRECIPITACIÓN mm	PRESIÓN BAROMÉTRICA mmHg
1	2024-06-11	20,2	89,3	1,8	0,0	662,4
2	2024-06-12	20,2	88,9	1,7	0,0	661,9
3	2024-06-13	21,3	77,3	1,6	0,2	662,1
4	2024-06-14	21,3	80,5	1,5	0,4	662,7
5	2024-06-15	21,0	79,5	1,1	0,5	663,4
6	2024-06-16	21,0	84,0	1,3	0,7	663,5
7	2024-06-17	21,1	82,0	1,4	0,9	663,2
8	2024-06-18	20,9	84,3	1,3	4,2	663,3
9	2024-06-19	22,4	72,3	2,0	3,7	663,3
10	2024-06-20	22,4	79,8	1,8	2,2	663,2
11	2024-06-21	22,4	75,9	1,7	1,7	662,7
12	2024-06-22	22,0	73,3	1,9	2,5	662,6
13	2024-06-23	21,7	79,7	2,1	0,8	662,7
14	2024-06-24	20,0	87,3	1,9	2,1	662,6
15	2024-06-25	20,4	84,8	1,5	0,9	662,7
16	2024-06-26	23,5	69,9	1,6	0,1	663,1
17	2024-06-27	22,1	73,1	1,7	0,5	663,5
18	2024-06-28	22,4	72,8	1,7	0,9	663,1

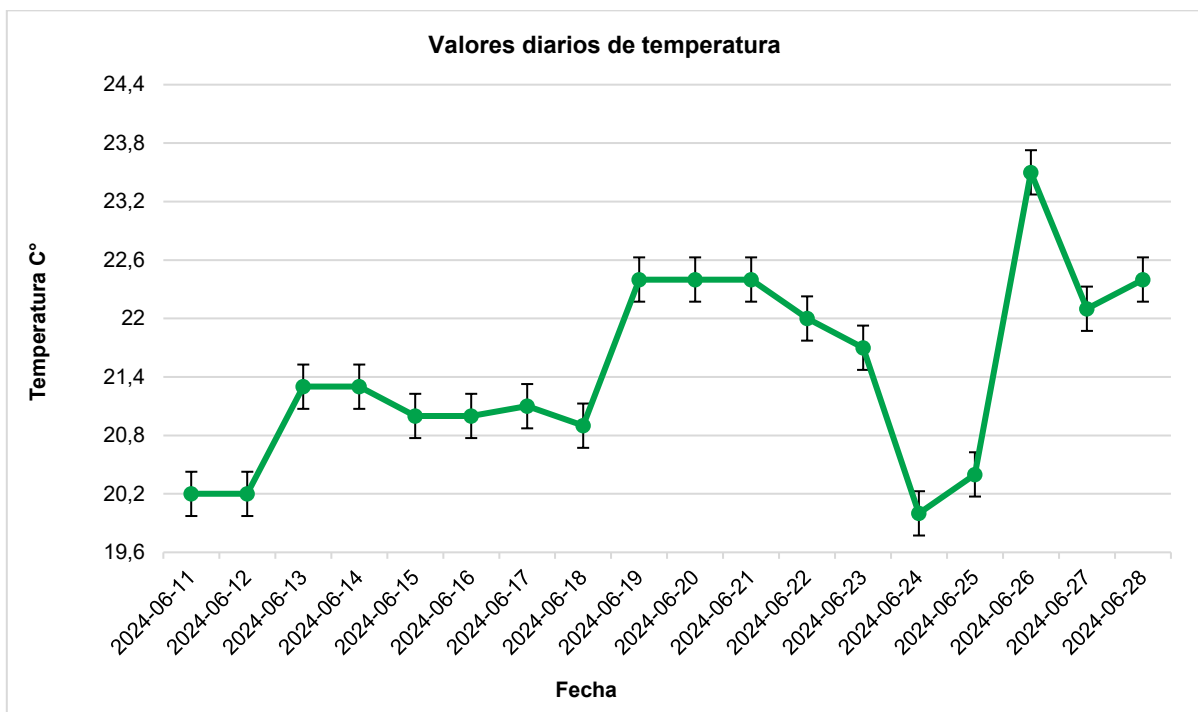


Fuente: (MCS, 2024)

- **Temperatura Ambiente**

Se entiende como la medida de la magnitud del calor que ocasiona la radiación solar sobre la atmosfera la cual es distribuida por medio de los gradientes verticales que dan origen a los pisos térmicos, por lo cual a cada nivel altimétrico le corresponde un rango de temperatura específico. Ahora, con la información obtenida se realiza una gráfica (Figura 3-46) que demuestra el comportamiento de la temperatura a lo largo del periodo de monitoreo. (MCS, 2024).

Figura 3-46 Gráfica de los valores diarios de temperatura



Fuente: (MCS, 2024)

A partir de la Figura 3-46, es posible evidenciar que las temperaturas oscilan en un rango desde los 20,0°C y los 23,5°C con un comportamiento variable, sin datos atípicos, con sus valores mínimos y máximos ocurridos los días 24 de junio y 26 de junio correspondientemente.

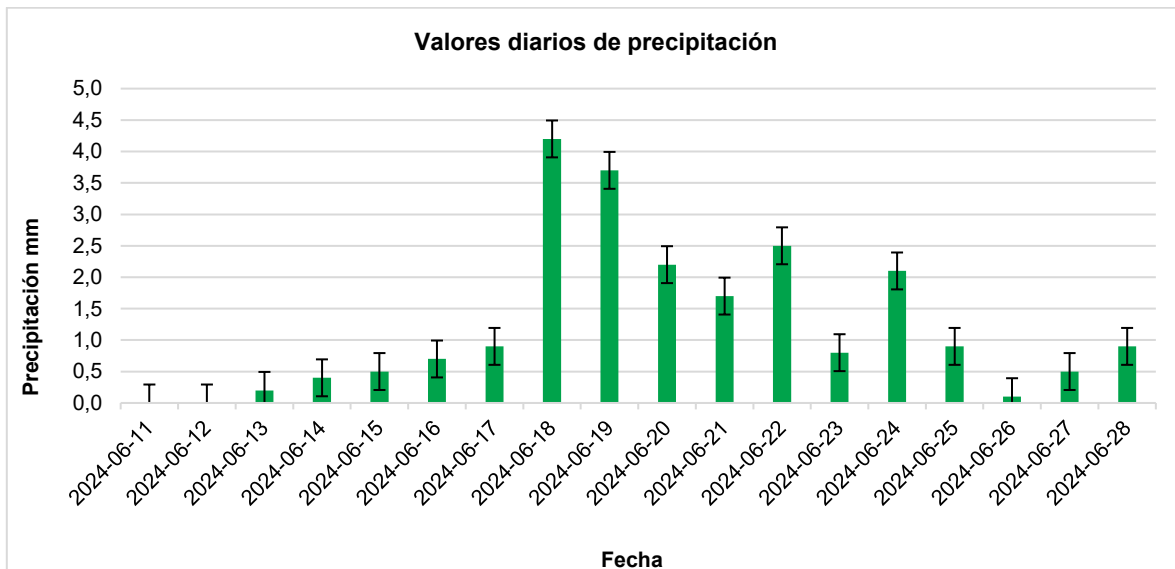
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	56

- **Precipitación**

La precipitación es uno de los fenómenos atmosféricos más condicionantes sobre el clima, dado que le ocasiona cambios rápidos y profundos (MCS, 2024), además de ser una variable de importancia en la condición de la calidad del aire, al actuar como un limpiador que precipita los contaminantes que están suspendidos en la atmosfera hacía la superficie terrestre.

Como parte del análisis de los datos de la precipitación en la zona de estudio, se presenta la Figura 3-47, por medio de la cual es posible identificar que el día 26 de junio se presentó la precipitación mínima con un valor de 0,1 mm y la máxima de 4,1 mm fue el 18 de junio, resaltando la ausencia precipitación los días 11 y 12 de junio (MCS, 2024).

Figura 3-47 Gráfica de los valores diarios de precipitación



Fuente: (MCS, 2024)

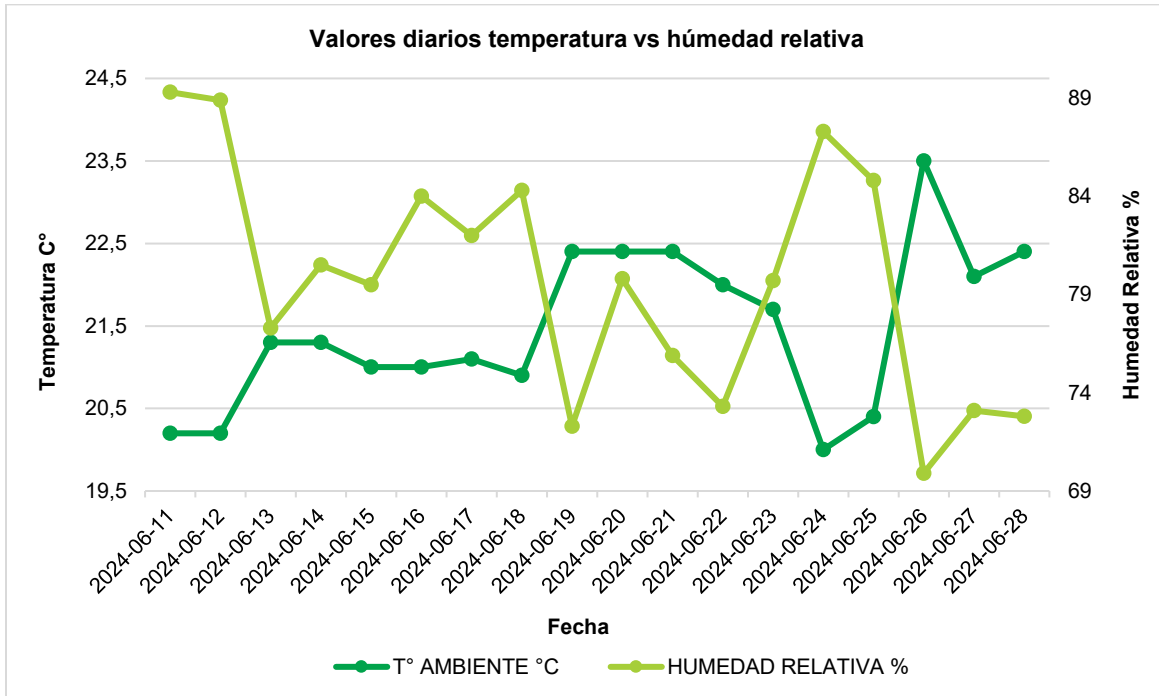
- **Humedad Relativa**

Es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua contenido en un volumen de aire y el que tendría si estuviese saturado a la temperatura a la que se encuentre este. La importancia de este parámetro radica en el hecho de que, es posible diluir en el aire húmedo algunos gases que son miscibles en el agua, como el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno, además de que estos núcleos de humedad tienen también la capacidad de

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	57

retener material sólido que, al ser higroscópico, puede aglomerarse y sedimentarse (MCS, 2024).

Figura 3-48 Gráfica de temperatura vs humedad



Fuente: (MCS, 2024)

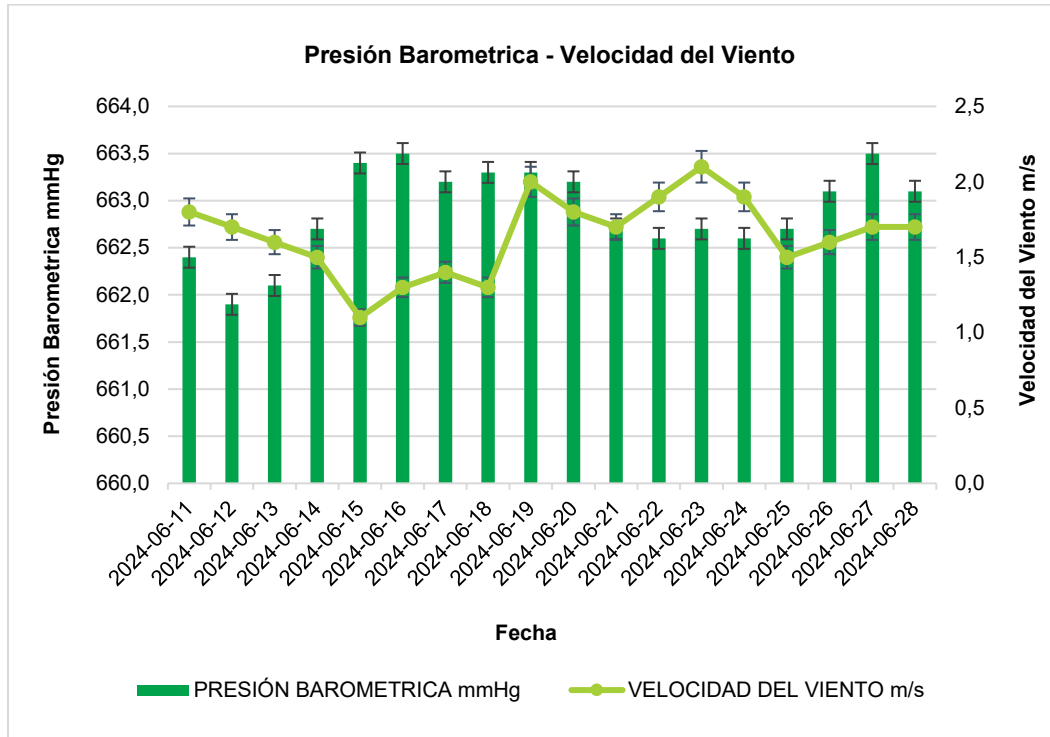
Para el análisis de la humedad relativa se realiza una comparación con la temperatura ambiente en donde es posible evidenciar como sus comportamientos son inversos (Figura 3-48), además de indicar sus valores mínimos y máximos para los días 26 de junio y 11 de junio con cifras de 69,9% y 89,3% (MCS, 2024).

- **Presión Atmosférica**

Está relacionada con variables como la temperatura, la humedad del aire y la elevación del área de estudio, esta relación se da en el sentido en el que el aire caliente pesa menos que el aire frío, pero el aire húmedo pesa menos que el aire seco, lo cual afecta directamente la variación de la presión atmosférica (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	58

Figura 3-49 Valores diarios de presión atmosférica y velocidad del viento



Fuente: (MCS, 2024)

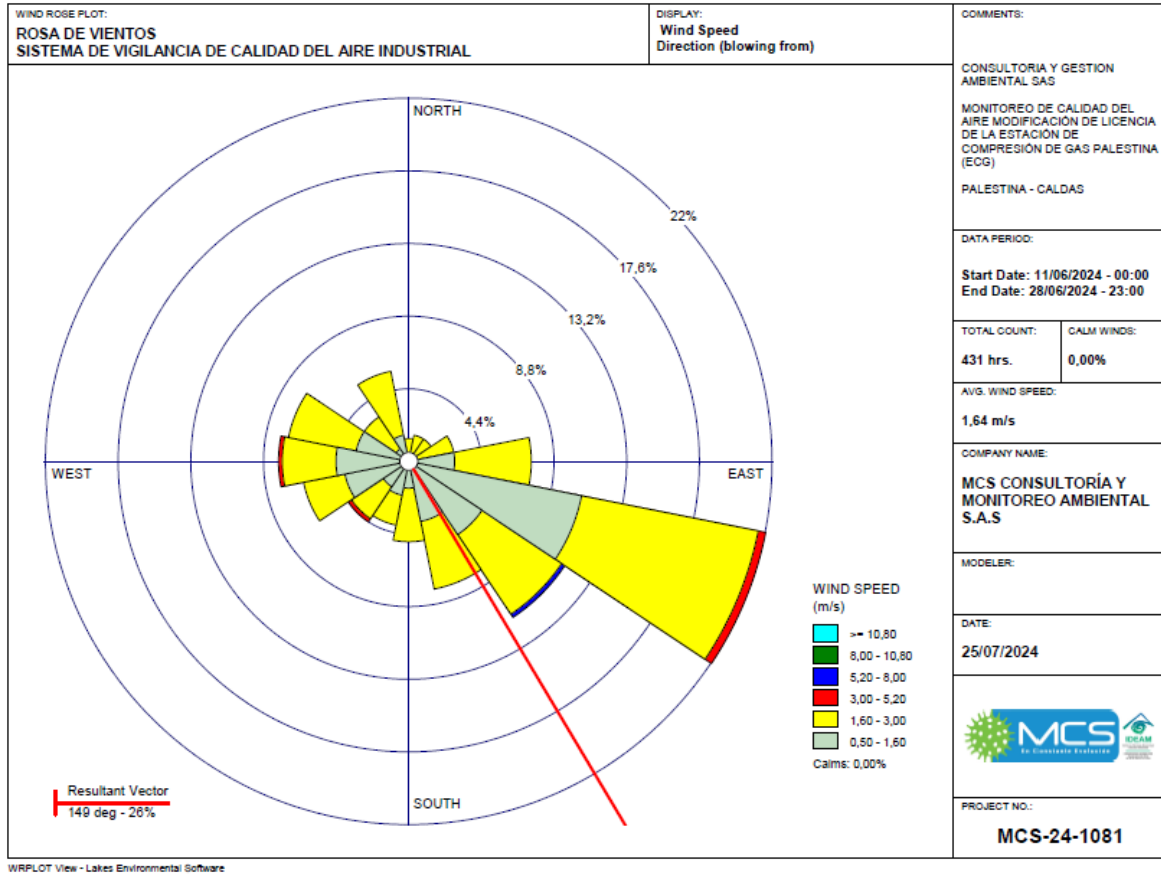
La presión atmosférica para la zona de estudio oscila entre 661,9 mmHg y 663,5 mmHg, con su valor mínimo el día 12 de junio y su valor máximo los días 16 y 27 de junio, tal y como se muestra en la Figura 3-49, la cual también muestra la relación entre la presión y la velocidad del viento, las cuales actúan de manera opuesta (MCS, 2024).

- **Viento**

Para el análisis del comportamiento del viento se toman sus características más representativas y se procesa la información obtenida de la estación en el software WRPLOT VIEW FREWARE, el cual permite obtener una rosa de los vientos como la de la Figura 3-50.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	59

Figura 3-50. Rosa de los Vientos



Fuente: (MCS, 2024)

La rosa de los vientos es una herramienta visual y estadística que permite determinar la predominancia de la dirección del viento dentro de un área de este, en este caso, el viento tiene predominancia en las direcciones que se muestran en la Tabla 3-19.

Tabla 3-19. Predominancia de la dirección del viento

DIRECCIÓN	PREDOMINANCIA (%)
Este-Sureste (ESE)	21,99%
Sureste (SE)	11,34%
Sur-Sureste (SSE)	7,87%
Oeste (W)	7,87%

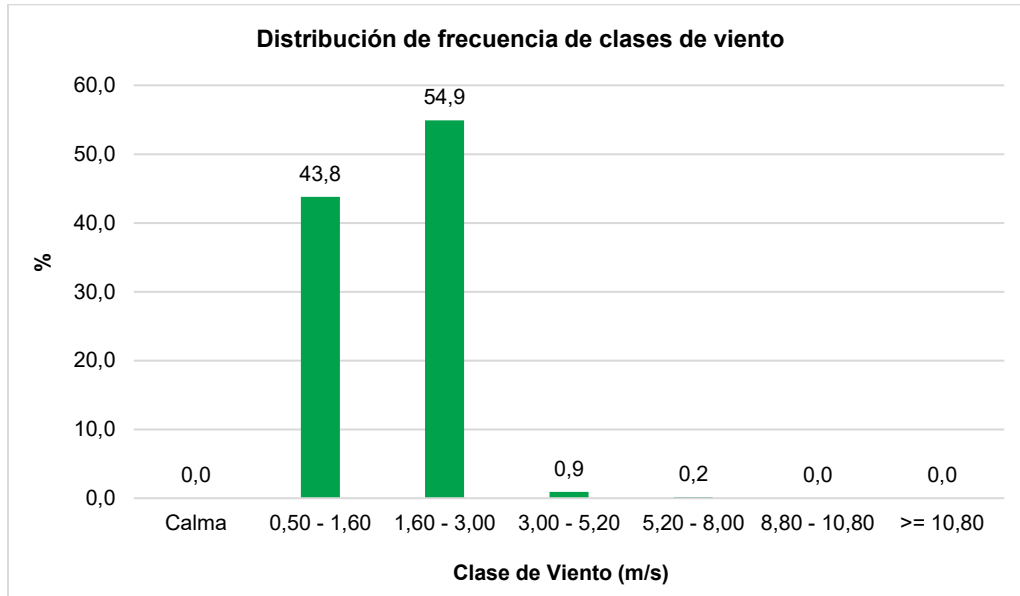
Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

De lo anterior, se obtiene un vector resultante en la dirección Sur-Sueste (SSE) con el 26% de los datos y velocidades de hasta 8,00%. Por otro lado, en cuanto al comportamiento de la velocidad del viento durante el tiempo de monitoreo, este es variable con un valor

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	60

promedio de 1,6 m/s, un valor mínimo de 1,1 m/s el 15 de junio y uno máximo de 2,1 m/s el día 23 de junio (Figura 3-49) (MCS, 2024).

Figura 3-51 Gráfica distribución de frecuencias del viento



Fuente: CONSGA BIC S.A.S,2024

La Figura 3-51, muestra la distribución de los datos de la velocidad del viento, en donde la mayor concentración con un porcentaje de 54,9% corresponde a las velocidades promedio horarias que van de los 1,60 m/s a los 3,00 m/s, seguido por velocidades de 0,50 m/s a 1,60 m/s con un 43,8%, un 0,9% corresponde a vientos con velocidades de 3,00 m/s a 5,20 m/s, y finalmente el 0,2% de los vientos oscilaron de 5,20 a 8,00 m/s (MCS, 2024).

3.2.9.2.3.2 Condiciones del Monitoreo

Dentro de este apartado se definirán las características de los contaminantes a analizar, los equipos y la forma de ser empleados, los puntos de monitoreo y las fuentes de emisión que influyen en ellos.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	61

- Ubicación

Una vez ubicadas las estaciones en los puntos de monitoreo predeterminados y de acuerdo con el área de influencia del proyecto, se realiza la verificación de los equipos, para los cuales se tomó como base los criterios técnicos establecidos dentro del Numeral 6.4 del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire) del MAVDT hoy MADS, mencionados en la Tabla 3-20 (MCS, 2024).

Tabla 3-20. Resumen de los criterios de localización

CRITERIO	ÍTEM	OBSERVACIÓN
Técnico	Condiciones de Seguridad	Velar por la seguridad de los equipos para poder garantizar la ejecución del monitoreo y su continuidad.
	Exposición de los toma-muestras y sensores	Se ubicarán teniendo en cuenta la dirección del viento y las fuentes objeto de estudio, debido a que el viento es el medio de transporte de los contaminantes y por tanto deberán estar dirigidos hacia los muestreadores y sensores.
Técnico	Condiciones de logística	Los puntos de monitoreo deben contar con conexión eléctrica regulada, suficiente y de fácil acceso a fin de asegurar el mantenimiento, limpieza y operación de los equipos.
Físicos	Cobertura	Se deberá abarcar la mayor área de estudio posible con el fin de realizar un muestreo representativo.
Sociales	Fuentes receptoras	Se localizarán las respectivas estaciones de monitoreo teniendo en cuenta la ubicación de caseríos, cascos urbanos y demás centros poblados.

Fuente: (MCS, 2024)

Con las verificaciones realizadas, se diligencia la lista de chequeo de la Tabla 3-21, a fin de verificar que se está dando cumplimiento con los criterios establecidos para la ejecución de los monitoreos de la calidad del aire (MCS, 2024).

Tabla 3-21. Lista de chequeo para macro y micro localización

ÍTEM EVALUADO	ESTACIONES			OBSERVACIÓN
	1	2	3	
Macro Localización				
Verificar la dirección predominante del viento en la zona de estudio	C	C	C	Se realiza una rosa de los vientos con información de años anteriores para verificar la predominancia del viento
Micro Localización				
La altura de la toma de muestra es de 2 a 15 metros para PM ₁₀ y PM _{2.5} , y para los demás parámetros es de 3 a 15 metros	C	C	C	El analizador se ubica a 2 metros
Se debe tener un flujo de aire sin restricciones en 270° alrededor de la toma de la muestra y/o ángulo de 120° libre por encima del equipo.	C	C	C	El analizador presenta 360° libre de restricciones para la entrada del aire muestreado.
Debe estar ubicado a mínimo 20 metros de distancia de fuentes como hornos y actividades de incineración.	C	C	C	La estación se encuentra a campo abierto con lo cual no se presentan fuentes fijas en las inmediaciones que puedan inferir en el resultado.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	62

ÍTEM EVALUADO	ESTACIONES			OBSERVACIÓN
	1	2	3	
Macro Localización				
La distancia con respecto a carreteras y/o caminos debe ser de mínimo 10 metros de la línea de tráfico más cercana.	C	C	C	Está ubicada a una distancia lineal de la vía de más de 10 metros.
Su ubicación dependerá de la rosa de los vientos obtenida, los vientos deben estar en dirección a los sitios escogidos.	C	C	C	Se tomó como referencia la rosa de vientos con la meteorología de la zona.



C: Cumple


Fuente: (MCS, 2024)

Finalmente, en la Tabla 3-22 y en la Figura 3-52 se presenta la localización general de las estaciones de monitoreo y las condiciones específicas de cada uno.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	63
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

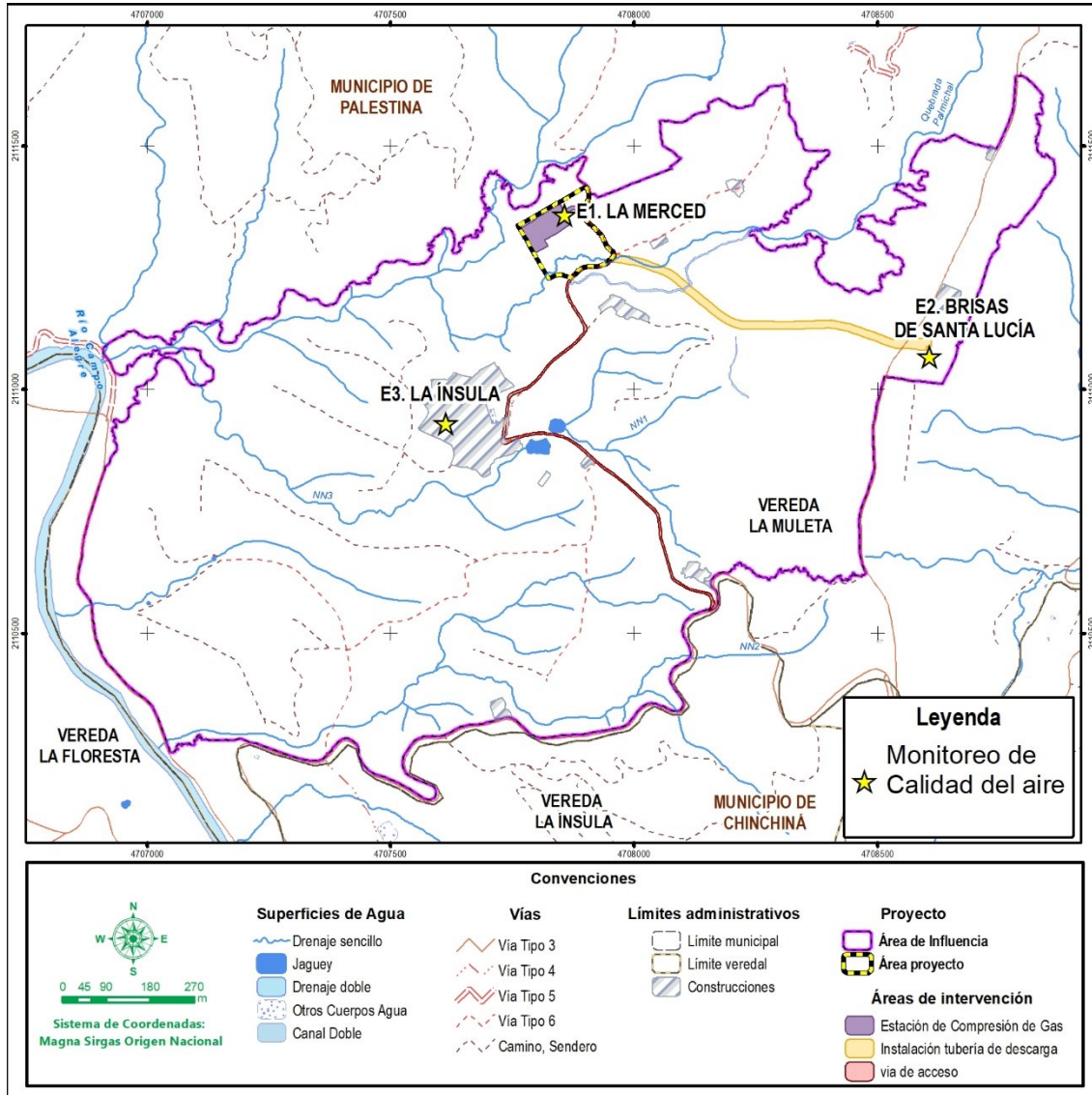
Tabla 3-22 Ubicación y características de las estaciones de monitoreo

DESCRIPCIÓN ESTACIONES DE MONITOREO							
PUNTO	REGISTRO FOTOGRÁFICO	UBICACIÓN			ENTORNO		
					TRÁFICO	INDUSTRIA	OBSERVACIÓN
# 1 LA MERCED		COORDENADAS DMS - NACIONAL	N	2111357	Distancia (m)	Tipo de Industria	La estación se ubica en el predio La Merced, rodeada de cultivos y viviendas, además se ubicó a distancia de 105,15 m del gasoducto.
				22	Hidrocarburos		
			E	4707857		Tráfico Diario	
				16	N/A		
		COORDENADAS WGS 84	N	05° 00'09.06"		Vel. Promedio (Km/h)	
				15	N/A		
			W	75°38'7,87"		Estado de la Vía	
				Sin Pavimentar			
# 2 BRISAS DE SANTA LUCÍA		COORDENADAS DMS - NACIONAL	N	2111067	Distancia (m)	Tipo de Industria	La estación se encuentra a 17,87 m del gasoducto, además se identifica alrededor cultivos y viviendas, baja vegetación.
				50	Hidrocarburos		
			E	4708606		Tráfico Diario	
				16	N/A		
		COORDENADAS WGS 84	N	04°59'59,72"		Vel. Promedio (Km/h)	
				40	N/A		
			W	75°37'43,53"		Estado de la Vía	
				Pavimentada			

DESCRIPCIÓN ESTACIONES DE MONITOREO								
PUNTO		REGISTRO FOTOGRÁFICO	UBICACIÓN			ENTORNO		OBSERVACIÓN
#	NOMBRE		COORDENADAS DMS - NACIONAL	N	E	TRÁFICO	INDUSTRIA	
		# 3				LA ÍNSULA		COORDENADAS DMS - NACIONAL
E	4707614		30	Hidrocarburos				
COORDENADAS WGS 84	N		04°59'55.13"	Tráfico Diario	Distancia (m)			
	W		75°38'15.70"	12				
			Vel. Promedio (Km/h)					
			Estado de la Vía					
		Sin Pavimentar						

Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Figura 3-52. Puntos de monitoreo calidad del aire



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

- Especificaciones del Monitoreo

En la Tabla 3-23 se presentan las condiciones generales del monitoreo. Es importante hacer la claridad de que para este estudio no se generan desviaciones, adiciones o exclusiones del método de ensayo.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	66

Tabla 3-23. Información del Monitoreo

INFORMACIÓN DEL MONITOREO	
Parámetros medidos	PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , NO ₂ , HCT y CO
Número de estaciones	3
Fecha de Monitoreo	11/06/2024 al 29/06/2024
Fecha de recepción de muestras	21/06/2024 – 30/06/2024
Fecha de ejecución de los análisis	21/06/2024 al 09/07/2024
Laboratorio que Ejecuta	MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S

Fuente: (MCS, 2024)

Una vez definidos los parámetros a monitorear y analizar, se procede a dar una descripción de las características de cada uno de ellos (Tabla 3-24), dado que de ellas depende su comportamiento.

Tabla 3-24. Características de las sustancias contaminantes

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFECTOS
Partículas suspendidas PM ₁₀ .	Partículas con diámetro iguales o menores a 10 micras con fácil acceso a las vías respiratorias	Funcionamiento de motores con combustibles fósiles, movimiento de tierras.	Pueden Causar: - Lesiones pulmonares - Contribución a enfermedades pulmonares o cardíacas - Agravantes de enfermedades como el asma
Partículas Suspendidas PM _{2.5} .	Partículas con diámetro menor o iguales a 2,5 micrómetros de fácil acceso al sistema respiratorio y alojamiento en los alveolos.	Combustión de diésel en los motores de los vehículos	Pueden: - Exacerbar de enfermedades de tipo respiratorio - Agravar enfermedades cardiovasculares - Causar dolor de garganta, tos, dolor de cabeza y sibilancias.
Dióxidos de Nitrógeno (NO ₂).	Son compuestos gaseosos constituidos por nitrógeno y oxígeno.	Vehículos automotores.	Causan: - Lesiones pulmonares. - Lluvia ácida. - Deterioro de edificios y monumentos. - Daño a bosques. Formación de contaminación fotoquímica.
Dióxido de Azufre (SO ₂).	Gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. Se condensa a -10°C y solidifica a -72°C. Es soluble en agua y en solventes orgánicos	Combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, diésel, gasolina, petróleo, carbón, etc.).	Pueden Causar: - Deterioro de los suelos y cursos de agua. - Lluvia ácida - Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas. -Queratitis (irritación de la córnea). - Colapso circulatorio. - Problemas de asma y bronquitis crónica. - Edema pulmonar. - Inflamación de las vías respiratorias.
Hidrocarburos Totales (HCT)	Son sustancias con el carbono como base, son precursoras del ozono, están presentes en la atmósfera con una presión de vapor superior a 0,14 mmHg a 25°C	Evaporación de disolventes orgánicos. Fuentes naturales	Pueden Causar: - Alta toxicidad - Efectos cancerígenos en algunos casos.

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFECTOS
Monóxido de Carbono (CO).	Gas incoloro e inodoro.	Vehículos a gasolina. Fogatas y quema de leña, cartón, entre otros	Puede causar: - Dolores de cabeza. - Menos claridad mental. - Muerte. - Lesiones cardíacas.

Fuente: (MCS, 2024)

3.2.9.2.3.3 Resultados y Análisis

A partir de los métodos aplicados para la toma de muestras y las metodologías de análisis en laboratorio se obtienen los resultados para cada estación, los cuales son comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución No, 2254 de 2017 “Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente” (Tabla 3-25) con el fin de verificar su cumplimiento (MCS, 2024).

Tabla 3-25 Niveles máximos permisibles de inmisión según la Resolución 2254 del 2017,

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE RES, 2254 DE 2017
PM ₁₀ – Promedio diario 24 horas	µg/m ³	75
PM _{2,5} – Promedio diario 24 horas	µg/m ³	37
Dióxido de Nitrógeno NO ₂ – 1 Hora	µg/m ³	200
Dióxido de Azufre SO ₂ – 24 Horas	µg/m ³	50
Monóxido de Carbono CO – 1 Hora	µg/m ³	35000
Monóxido de Carbono CO – 8 Horas	µg/m ³	5000

Fuente: (MCS, 2024)

A continuación, en la Tabla 3-26 a Tabla 3-28, se encuentran los resultados de los monitoreos por estación y su comparación con los limite máximos permisibles que se indican en la norma.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	68

Tabla 3-26. Resultados reportados de la Estación 1 - La Merced

Estación #1 LA MERCED																				
Día	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Limite Max. Permissible Artículo 2 Resolución 2254 de 2017
Código MCS		25894	25895	25896	25897	25898	25899	25900	25901	25902	27297	27298	27299	27300	27301	27302	27303	27304	27305	N.A
Hora de Inicio		8:00	8:15	8:30	8:18	8:35	8:25	8:29	8:18	8:33	8:24	8:30	8:14	8:30	8:18	8:35	8:24	8:33	8:20	N.A
Fecha		11/06/2024	12/06/2024	13/06/2024	14/06/2024	15/06/2024	16/06/2024	17/06/2024	18/06/2024	19/06/2024	20/06/2024	21/06/2024	22/06/2024	23/06/2024	24/06/2024	25/06/2024	26/06/2024	27/06/2024	28/06/2024	N.A
PM10	µg/m3	22,67	12,07	19,48	13,62	18,15	21,52	16,84	6,63	13,18	16,6	11	9,12	16,74	13,89	18,47	21,88	11,48	8,03	75
PM2,5	µg/m3	6,13	4,57	4,48	3,39	7,25	7,31	4,19	2,3	3,44	3,33	2,98	1,92	5,84	5,12	7,03	4,39	2,39	3,21	37
SO2	µg/m3	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	23,35	<20,34	<20,34	50
HCT	µg/m3	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	N.A

Fuente: (MCS, 2024)

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla anterior para la estación **La Merced**, es posible determinar que en este punto no se presentaron durante los 18 días monitoreados concentraciones que excedieran el límite máximo permisible para los contaminantes criterio (PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂), identificando también que los valores máximos reportados fueron de 22,67 µg/m³ para PM₁₀, de 7,31 µg/m³ para PM_{2.5} y de 25,35 µg/m³ para SO₂. Ahora bien, en cuanto a su comportamiento estadístico, se tiene que los resultados con mayor varianza y desviación son los de PM₁₀ con valores de 23,32 y 4,83 µg/m³, seguidos de PM_{2.5} con 2,96 de varianza y 1,72 de desviación, y finalmente para SO₂ la varianza fue de 0,50 y la desviación de 0,71 (MCS, 2024).

Tabla 3-27. Resultados reportados de la Estación 2 - Brisas de Santa Lucía

Estación #2 BRISAS DE SANTA LUCÍA																				
Día	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Limite Max. Permissible Artículo 2 Resolución 2254 de 2017
Código MCS		25905	25906	25907	25908	25909	25910	25911	25912	25913	27306	27307	27308	27309	27310	27311	27312	27313	27314	N.A
Hora de Inicio		9:25	9:45	10:00	10:16	10:36	10:19	10:10	10:00	10:20	10:34	10:19	10:01	10:18	10:33	10:25	10:18	10:30	10:20	N.A
Fecha		11/06/2024	12/06/2024	13/06/2024	14/06/2024	15/06/2024	16/06/2024	17/06/2024	18/06/2024	19/06/2024	20/06/2024	21/06/2024	22/06/2024	23/06/2024	24/06/2024	25/06/2024	26/06/2024	27/06/2024	28/06/2024	N.A
PM10	µg/m3	22,16	28,03	14,08	19,7	15,28	21,62	15,61	9,39	16,66	14,41	19,74	15,71	13,26	10,73	19,15	24,06	11,62	18,85	75
PM2,5	µg/m3	7,29	5,88	3,52	4,54	5,33	5,61	3,29	3,75	5,5	3,73	5,71	3,14	4,37	3,12	6,72	7,68	3,25	7,53	37
SO2	µg/m3	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	24,04	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	24,15	<20,34	<20,34	50
HCT	µg/m3	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	N.A

Fuente: (MCS, 2024)

Para el caso de la Estación **Brisas de Santa Lucía**, los resultados de los 18 días monitoreados para los contaminantes criterio (PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂) se encuentran por debajo del límite máximo permisible, en donde los valores máximos fueron de 28,03 µg/m³ para PM₁₀, de 7,66 µg/m³ para PM_{2.5} y de 24,15 µg/m³ para SO₂, para los cuales, la varianza y desviación tienen los siguientes valores; 23,73 y 4,87 µg/m³ para PM₁₀, de 2,51 y 1,59 µg/m³ para PM_{2.5}, y de 1,48 y 1,22 µg/m³ (MCS, 2024), lo que quiere decir que los resultados más dispersos y variables entre ellos corresponden a PM₁₀.

Tabla 3-28. Resultados reportados de la Estación 3 - La Ínsula

Estación #3 LA ÍNSULA																				
Día	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Limite Max. Permisible Artículo 2 Resolución 2254 de 2017
Código MCS		25916	25917	25918	25919	25920	25921	25922	25923	25924	27315	27316	27317	27318	27319	27320	27321	27322	27323	N.A
Hora de Inicio		13:00	13:19	13:35	13:56	13:24	13:01	13:10	12:55	13:10	13:28	13:45	13:18	12:50	13:30	13:51	13:20	13:00	13:18	N.A
Fecha		11/06/2024	12/06/2024	13/06/2024	14/06/2024	15/06/2024	16/06/2024	17/06/2024	18/06/2024	19/06/2024	20/06/2024	21/06/2024	22/06/2024	23/06/2024	24/06/2024	25/06/2024	26/06/2024	27/06/2024	28/06/2024	N.A
PM10	µg/m3	15,77	22,97	13,04	21,21	15,22	22,1	19,62	9,54	13,01	11,42	19,64	13,85	16,25	21,75	13,02	22,77	12,7	18,4	75
PM2,5	µg/m3	5,51	7,59	2,62	4,46	5,32	8,83	7,67	3,55	4,02	2,74	6,08	5,01	3,23	5,01	4,15	7,27	4,07	4,77	37
SO2	µg/m3	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	<20,34	24,78	<20,34	<20,34	50
HCT	µg/m3	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	N.A

Fuente: (MCS, 2024)

Los resultados obtenidos para la Estación La Ínsula no presentaron valores que excedieran los límites máximos permisibles durante los 18 días monitoreados, para los contaminantes criterio (PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂), teniendo en cuenta que sus valores máximos fueron de 22,97 µg/m³ para PM₁₀, de 8,83 µg/m³ para PM_{2.5} y de 24,78 µg/m³ para SO₂, por su parte, al realizar un análisis estadístico de los resultados, se tiene que para PM₁₀ la varianza tiene un valor de 18,71 y una desviación de 4,33, para PM_{2.5} sus valores son de 3,17 y 1,78, finalmente para SO₂ la varianza es de 1,10 y la desviación es de 1,05 (MCS, 2024), estos análisis estadísticos demuestran que de los resultados los más dispersos y variados son los que corresponden a PM₁₀.

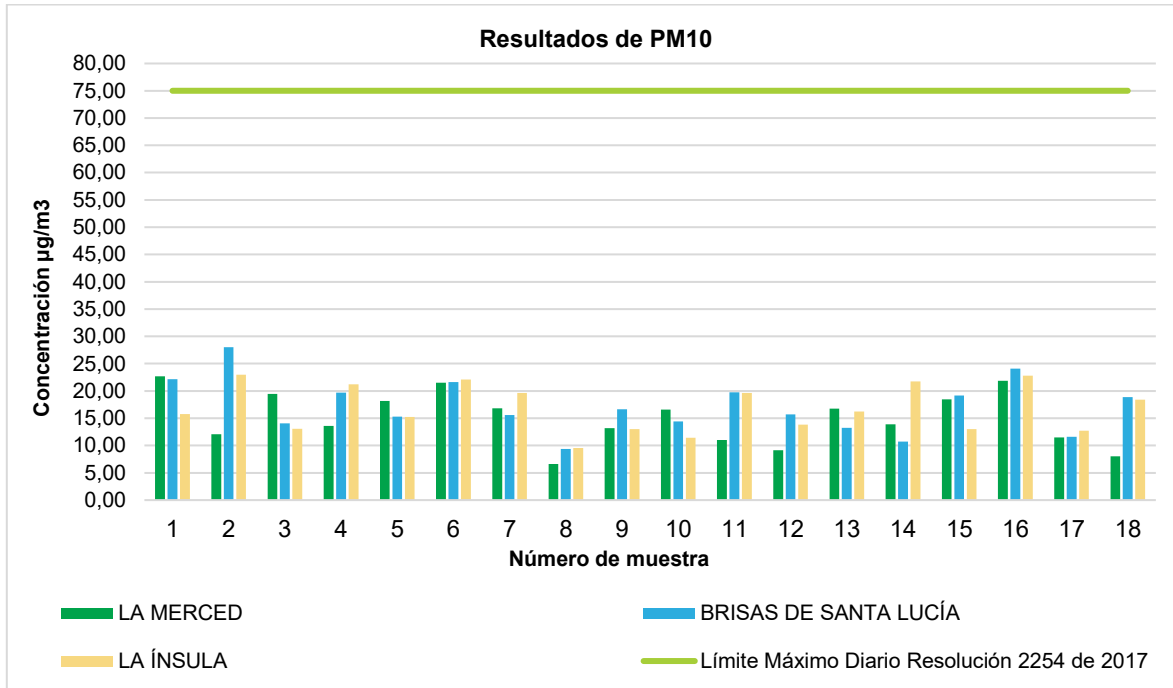
Por último, es importante hacer la claridad para todas las estaciones que, dentro de la normatividad legal vigente en materia de calidad del aire no se establecen límites para HCT, y que los valores monitoreados y reportados se encuentran en concentraciones que son incluso imperceptibles para los métodos de monitoreo y se presentan sus resultados como menores a 2,80 µg/m³, por lo que se pueden tomar como sustancias que no constituyen un problema para la calidad del aire.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros en cada estación.

- Material Particulado menos o igual a 10 micras (PM₁₀)

Para analizar los resultados de PM₁₀ se realiza un grafica de barras conjunta Figura 3-53, por medio de la cual es posible comparar los resultados entre estaciones, de las cuales la Estación 1 – La Merced, es la que presenta las menores concentraciones de estas partículas con una media de 15,08 µg/m³, esto debido a la baja presencia de actividad industrial y vehicular en la zona, mientras que la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía, tiene concentraciones más altas con una media de 17,23 µg/m³, concentración relacionada con las vías aledañas que se encuentran sin pavimentar, las cuales pueden generar una cantidad de partículas significativas que aporten al resultado obtenido. En cuanto a la exigencia normativa ninguno de los valores obtenidos se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido (75 µg/m³) (MCS, 2024).

Figura 3-53 Resultados PM₁₀ para todas las estaciones



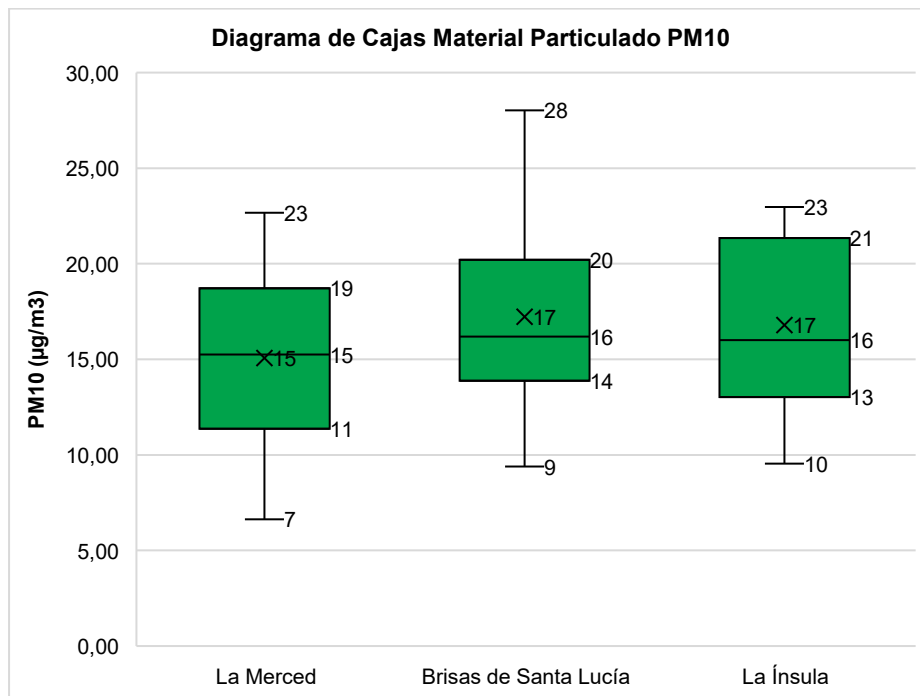
Fuente: (MCS, 2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	71
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Para complementar en análisis del comportamiento del material particulado PM₁₀, se generan graficas de cajas y bigotes (Figura 3-54) y un histograma de frecuencia (Figura 3-55).

En la Figura 3-54, se demuestra que los datos son asimétricos, con valores mayores en las estaciones 2 (Brisas de Santa Lucía) y 3 (La Ínsula) con una mediana de 16 µg/m³, mientras que en la estación 1 (La Merced) los valores fueron menores con su mediana de 15 µg/m³. Asimismo, las estaciones con mayor dispersión de datos es la estación 3 (La ínsula) con un IQR de 8 µg/m³ (MCS, 2024).

Figura 3-54 Diagrama de cajas para PM₁₀



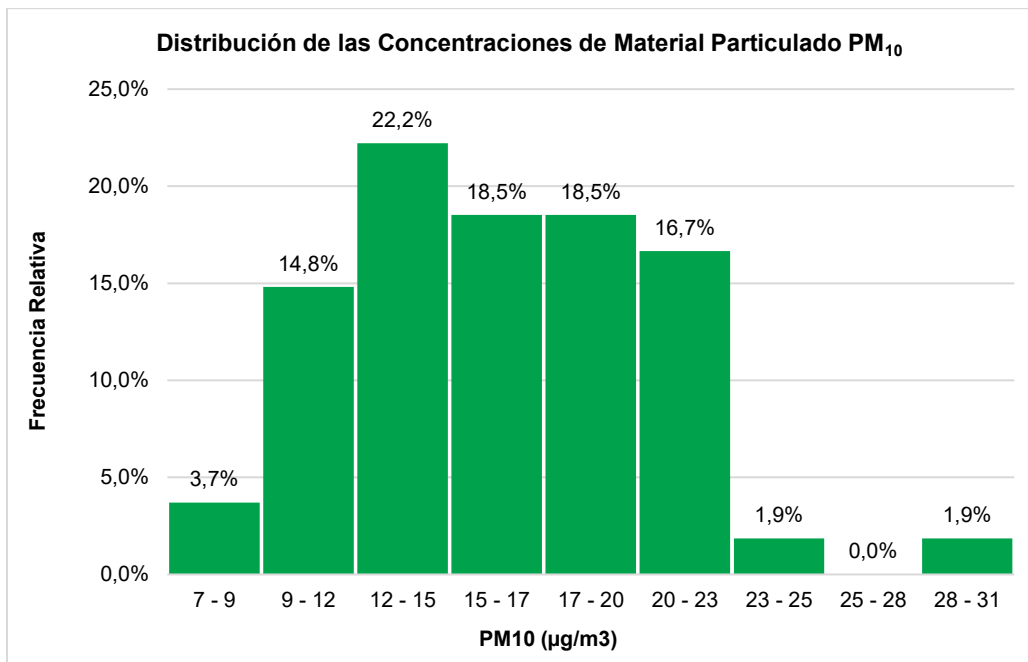
Fuente: (MCS, 2024).

Por su parte el histograma de la Figura 3-55, permite identificar la distribución porcentual de las concentraciones de PM₁₀ para los diferentes rangos definidos, en donde el mayor porcentaje es de 22,2% para las concentraciones entre 12 y 15 µg/m³, seguidas por los resultados de 15 µg/m³ a 17 µg/m³ y de 17 µg/m³ a 20 µg/m³ con el 18,5% de los datos para cada rango, luego de estos se encuentran los rangos de 20 µg/m³ a 23 µg/m³ con 16,7% y de 9 µg/m³ a 12 µg/m³ con 14,8%, para el resto de las concentraciones los porcentajes se

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	72

encuentran por debajo del 3% , por lo cual es posible decir que la mayoría de las concentraciones se encuentran por debajo de los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo anterior indica un pleno cumplimiento normativo con el límite diario de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Resolución 2254 de 2017, demostrando que las concentraciones registradas se encuentran dentro de los valores permisibles establecidos por la normatividad vigente. (MCS, 2024).

Figura 3-55 Histograma de frecuencias para PM₁₀



Fuente: (MCS, 2024)

Con la información anterior es posible realizar un análisis completo de los resultados de las estaciones como se muestra en la Tabla 3-29.

Tabla 3-29. Interpretación de resultados de PM₁₀ en las estaciones

ESTACIÓN	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
La Merced	El rango de las concentraciones oscila entre 6,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 22,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en donde su valor máximo se presentó el día 11 de junio que corresponde al día 1 de monitoreo, y su valor mínimo se evidenció el día 18 de junio (día 8), lo cual es acorde con la mayor precipitación registrada durante el monitoreo (4,2 mm). Las mediciones presentaron una media de 15,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una tendencia de sus valores de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y un IQR (longitud de la caja) de 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 3-54), y su mediana es de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Brisas de Santa Lucía	Para esta estación, las concentraciones se encontraron en un rango de 9,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 28,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 17,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sus valores mínimos y máximos se presentaron los días 18 de junio (día 8) y 12 de junio (día 2) correspondientemente, coincidiendo el día de menor concentración con el de la mayor precipitación registrada de 4,2 mm. La dispersión de sus resultados está en un rango de valores de 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una mediana de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando así que esta estación presentó las mayores concentraciones durante el monitoreo (Figura 3-54).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	73
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

ESTACIÓN	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
La Ínsula	Los valores monitoreados oscilaron en concentraciones de 9,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 22,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con su valor máximo presentado el día 12 de junio (día 2 de monitoreo), y su valor mínimo el día 18 de junio (día 8). La dispersión de estos resultados (IQR) tienen valores de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, una mediana de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una media de 16,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 3-54), en esta estación al igual que para las estaciones 1 y 2 el menor valor de concentración coincide con el registro de la precipitación de ese día (4,2 mm).

Fuente: (MCS, 2024)

En términos generales es importante resaltar que, para todas las estaciones, el valor mínimo de concentración se presentó el 18 de junio del presente año y que corresponde al día 8 de monitoreo, que se relaciona directamente con el hecho de que, durante el monitoreo, ese fue el día de mayor precipitación en la zona, con un valor de 4,2 mm.

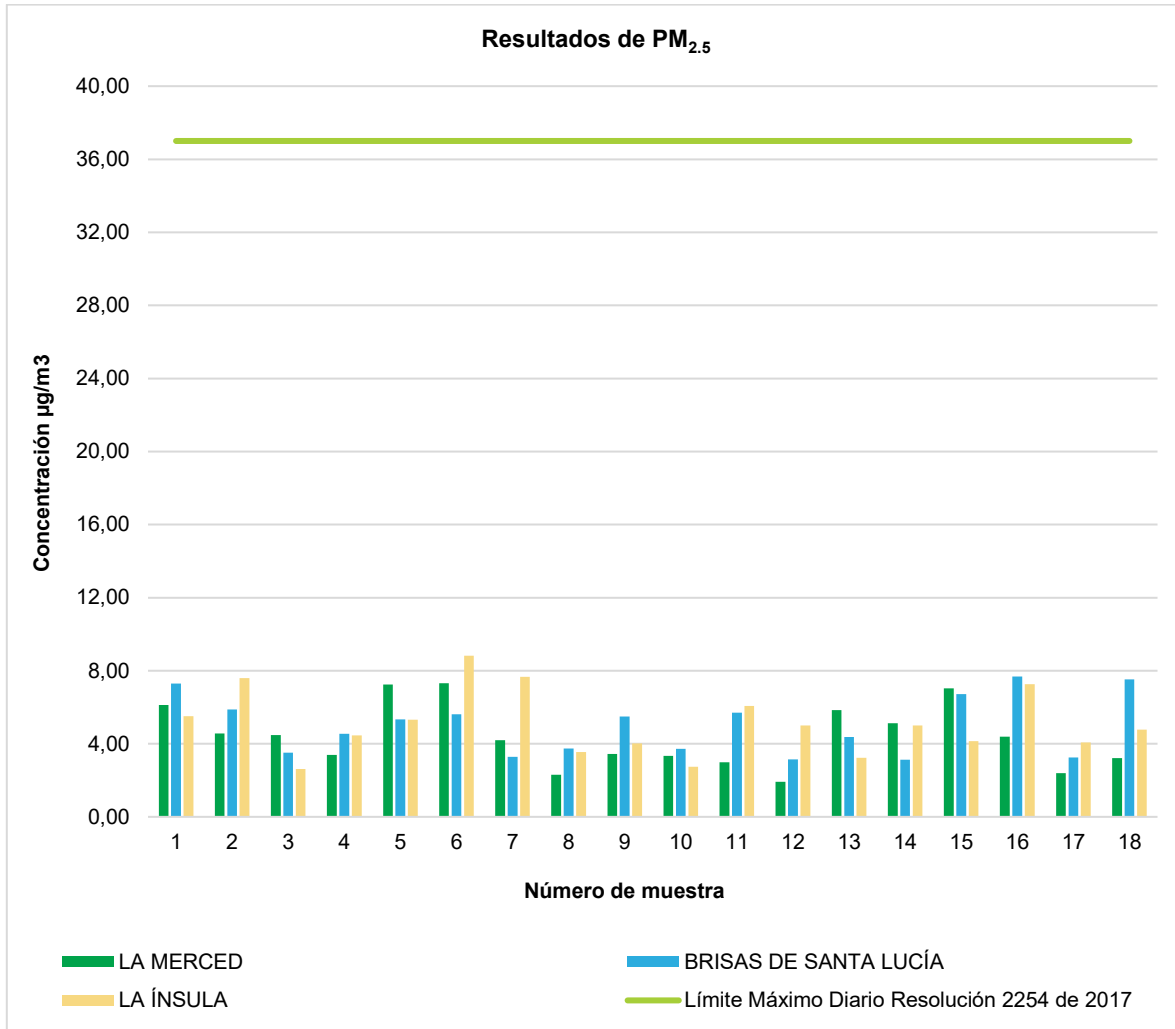
En cuanto al límite máximo permisible diario de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no fue excedido ningún día en ninguna de las estaciones, lo que indica el cumplimiento total a lo establecido en el artículo 2 de la Resolución No. 2254 de 2017.

- Material Particulado Fino ($\text{PM}_{2,5}$)

Al igual que en el caso del análisis de resultados de PM_{10} , Figura 3-567 la zona de monitoreo, lo que ayuda a filtrar las partículas finas de este componente, mientras que la Estación 3 – La Ínsula, registro concentraciones más altas con una media de 5,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto relacionado con presencia de tráfico vehicular en la zona, teniendo en cuenta que las emisiones de material resuspendido aumentan los niveles del compuesto en estudio. En cuanto a la exigencia normativa ninguno de los valores obtenidos se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido (37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	74
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

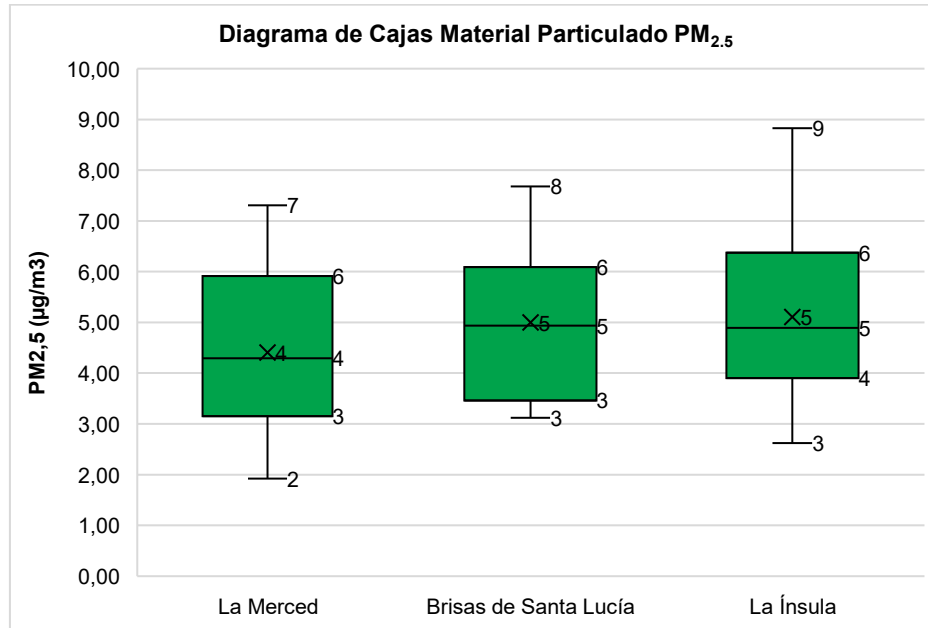
Figura 3-56 Resultados de PM_{2.5} para todas las estaciones



A través del análisis estadístico, por medio de la implementación de recurso como las gráficas de cajas y bigotes (Figura 3-57), es posible determinar que las estaciones 2 (Brisas de Santa Lucía) y 3 (La Ínsula) con una mediana de 5 µg/ m³ obtuvieron los valores más altos, mientras que la estación 1 (La Merced) obtuvo una mediana de 4,40 µg/ m³, siendo esta última la que presenta mayor dispersión datos con un IQR de 3 µg/ m³ (MCS, 2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	75

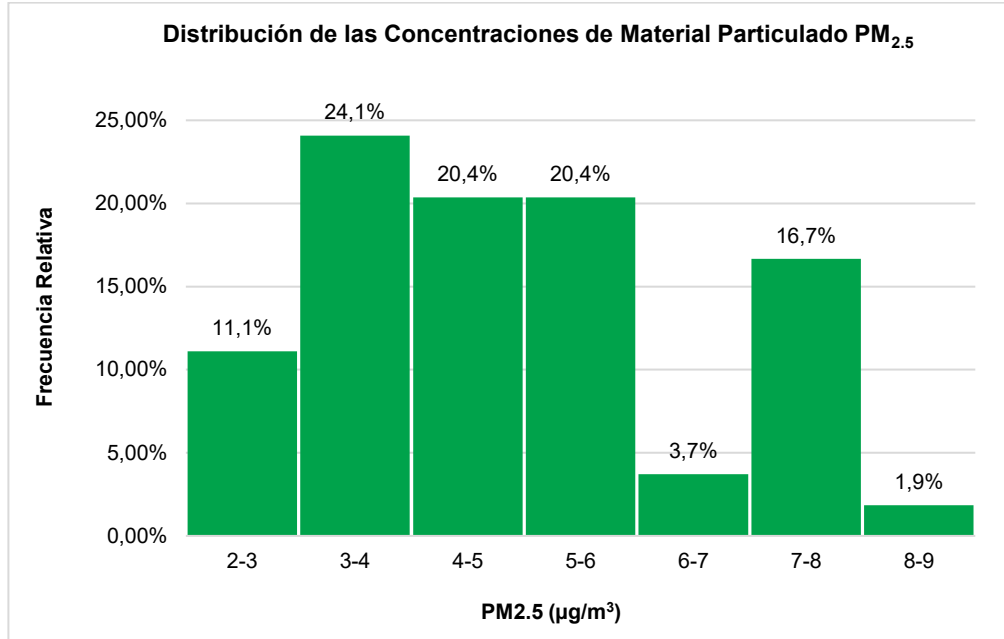
Figura 3-57 Grafica de cajas para PM_{2.5}



Fuente: (MCS, 2024)

En cuanto al histograma de frecuencias (Figura 3-58), este permite identificar que la mayor parte de concentraciones (24,1%) se agrupan de 3 µg/m³ a 4 µg/m³, seguidas por los intervalos de 4 µg/m³ a 5 µg/m³, y 5 µg/m³ a 6 µg/m³ con el 20,4% de los datos en cada rango, adicionalmente, la mayoría de los valores se encuentran por debajo de los 7 µg/m³; mientras que las concentraciones superiores a 8 µg/m³ e inferiores a 9 µg/m³ representan el 1,9% del total de datos, indicando que existe un pleno cumplimiento normativo con respecto al límite diario (37 µg/m³) establecido en el artículo 2 de la Resolución 2254 del 2017 (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	76

Figura 3-58 Histograma de frecuencias para PM_{2.5}


Fuente: (MCS, 2024)

Finalmente, a partir de los resultados y el análisis de la graficas de cajas y el histograma de frecuencias, es posible interpretar de manera integral los resultados de cada estación (Tabla 3-30).

Tabla 3-30. Interpretación de los resultados de PM_{2.5} en las estaciones

ESTACIÓN	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
La Merced	Las concentraciones oscilaron entre 1,92 µg/ m ³ a 7,31 µg/ m ³ , dentro de lo cual, se obtuvo el valor máximo el día 16 de junio que corresponde al día 6 de monitoreo, y el valor mínimo el día 22 de junio (día 12 de monitoreo), acorde con la tercera precipitación más alta registrada de 2,5 mm. Los valores presentaron una media de 4,40 µg/ m ³ , con una tendencia de sus valores de 3 µg/ m ³ a 6 µg/ m ³ , obteniendo así un IQR (longitud de la caja) de 3 µg/ m ³ y una mediana de 4 µg/ m ³ (Figura 3-57)
Brisas de Santa Lucía	Las concentraciones se encontraron en un rango de 3,12 µg/ m ³ a 7,68 µg/ m ³ , con una media de 5 µg/ m ³ , el menor valor se presentó el día 24 de junio (día 14), y el mayor se registró el día 26 de junio (día 16 de monitoreo). La dispersión de los resultados tiene un rango de valores de 4 µg/m ³ a 6 µg/m ³ y una mediana de 5 µg/m ³ , evidenciando así que esta estación presentó de las mayores concentraciones durante el monitoreo, (Figura 3-57)
La Ínsula	Las concentraciones oscilaron entre 2,62 µg/ m ³ y 8,83 µg/ m ³ , con su mayor valor registrado el día 16 de junio (día 6), y su menor valor se obtuvo el día 13 de junio (día 3 de monitoreo). La dispersión de resultados (IQR) con valores de 4 µg/ m ³ a 6 µg/ m ³ , una mediana de 5 µg/ m ³ y una media de 5,10 µg/m ³ por lo cual, esta estación obtuvo las mayores concentraciones durante el monitoreo,

Fuente: (MCS, 2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	77

Para PM_{2,5}, la estación que reportó la concentración más alta fue la Estación 3 – La Ínsula con un valor de 8,83 µg/ m³ para el 16 de Junio, mientras que la concentración más baja fue de 1,92 µg/ m³ reportada el 22 de Junio en la Estación 1 – La Merced, esto último se relaciona con una de las precipitaciones más altas registradas de 2,5 mm en esta fecha, esto, dado que las precipitaciones generan una reducción en los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos (MCS, 2024).

En general, ninguna estación reportó sobrepasos al límite máximo permisible diario (37 µg/m³), indicando cumplimiento a lo establecido en la Resolución No. 2254 de 2017 de MADS.

- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Los resultados registrados en promedio presentaron concentraciones menores en la estación 1 (La Merced) con una media de 5,57 µg/m³ y las mayores en la estación 2 (Brisas de Santa Lucía) con una media de 8,65 µg/m³, resultados que pueden estar relacionados al tráfico vehicular constante de la zona de estudio, el cual emite NO₂ como subproducto de la quema de combustibles, además de las vías de acceso, las cuales se encuentran sin pavimentar, siendo una fuente significativa para dicho resultado. De acuerdo con lo anterior no se reportan sobrepasos al límite para 1 hora establecido en la Resolución No. 2254 de 2017 (200 µg/m³) evidenciando total cumplimiento normativo (MCS, 2024). A continuación, se muestran los resúmenes estadísticos y gráficos para cada estación.

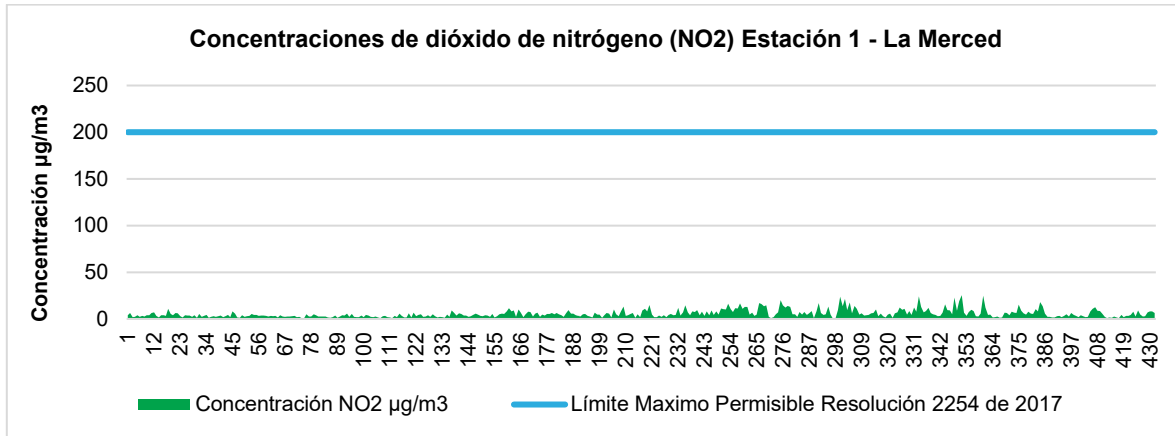
Tabla 3-31. Resumen estadístico de NO₂ para la Estación 1 – La Merced

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO – NO ₂		
Estación 1 – La Merced		1 hora
Cantidad de Datos	N	430
Número de Muestras Validas	Mv	430
% Datos Validos	%DV	100%
Valor máximo de Concentración	Max	25,46
Valor mínimo de Concentración	Min	0,97
Número de excedencias / Limite Horario	EL 1hr	0
Promedio Aritmético	$X = \sum X/n$	5,57
Varianza	$S^2 = (\sum X^2 - (\sum X)^2/n)/(n-1)$	17,86
Desviación Estándar	$S = \sqrt{S^2}$	4,23
Desviación Estándar de la Media:	$SX = S/\sqrt{n}$	0,20
Coefficiente de Variación	$CV = (s/X)*100$	3,66%
Intervalos de Confianza del 95%	$\mu = x + tsx$	5,99
	$\mu = x - tsx$	5,15

Fuente: (MCS, 2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	78

Figura 3-59. Grafica de resultados de NO₂ para la Estación 1 – La Merced



Fuente: (MCS, 2024).

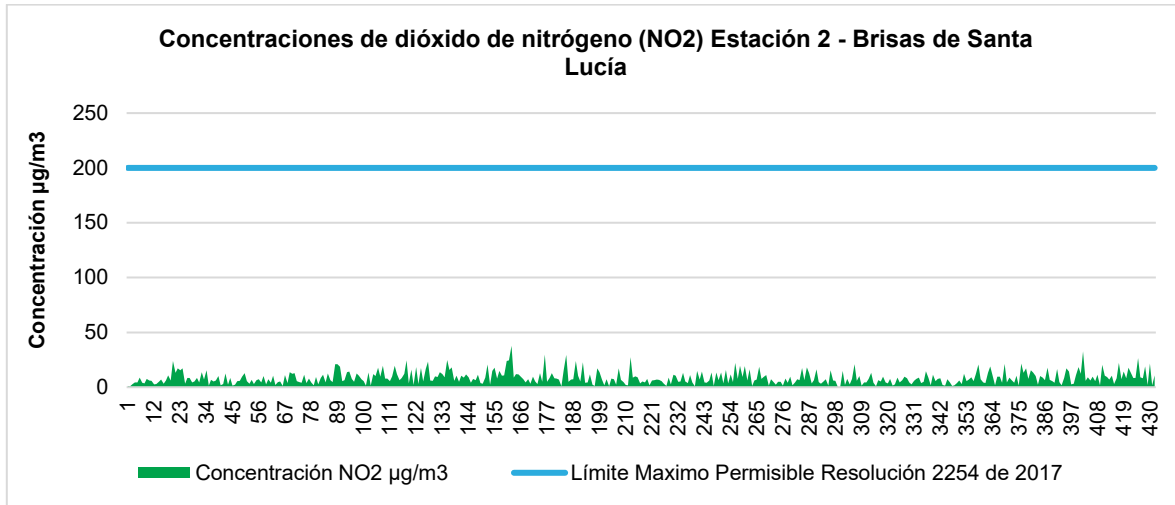
Con el monitoreo realizado por una hora en la Estación 1 - La Merced, se obtuvieron concentraciones que oscilaron entre 0,97 µg/m³ y 25,46 µg/m³ (MCS, 2024).

Tabla 3-32. Resumen estadístico de NO₂ para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO – NO ₂		
Estación 2 – Brisas de Santa Lucía		1 hora
Cantidad de Datos	N	430
Número de Muestras Validas	Mv	430
% Datos Validos	%DV	100%
Valor máximo de Concentración	Max	37,73
Valor mínimo de Concentración	Min	0,94
Número de excedencias / Limite Horario	EL 1hr	0
Promedio Aritmético	$X = \sum X/n$	8,65
Varianza	$S^2 = (\sum X^2 - (\sum X)^2/n)/(n-1)$	36,06
Desviación Estándar	$S = \sqrt{S^2}$	6,01
Desviación Estándar de la Media:	$SX = S/\sqrt{n}$	0,29
Coefficiente de Variación	$CV = (s/X)*100$	3,35%
Intervalos de Confianza del 95%	$\mu = x + tsx$	9,25
	$\mu = x - tsx$	8,06

Fuente: (MCS, 2024)

Figura 3-60. Grafica de resultados de NO₂ para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía



Fuente: (MCS, 2024)

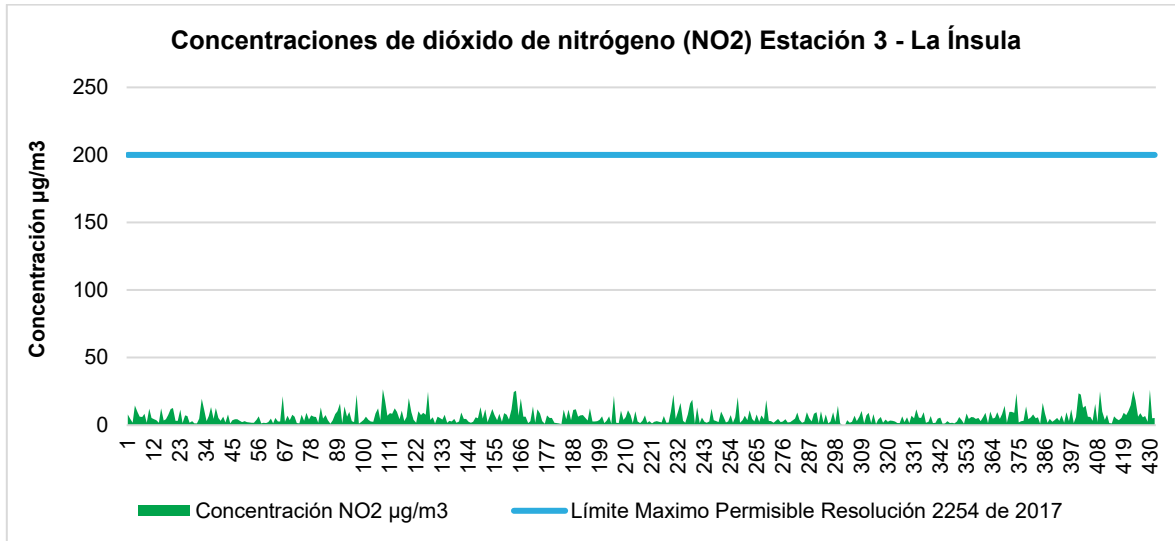
En la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía, las concentraciones variaron en un rango de 0,94 µg/m³ a 37,73 µg/m³ (MCS, 2024).

Tabla 3-33. Resumen estadístico de NO₂ para la Estación 3 – La Ínsula

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO – NO ₂		
Estación 3 – La Ínsula		1 hora
Cantidad de Datos	N	430
Número de Muestras Validas	Mv	430
% Datos Validos	%DV	100%
Valor máximo de Concentración	Max	23,63
Valor mínimo de Concentración	Min	0,94
Número de excedencias / Limite Horario	EL 1hr	0
Promedio Aritmético	$X = \sum X/n$	6,31
Varianza	$S^2 = (\sum X^2 - (\sum X)^2/n)/(n-1)$	26,65
Desviación Estándar	$S = \sqrt{S^2}$	5,16
Desviación Estándar de la Media:	$SX = S/\sqrt{n}$	0,25
Coefficiente de Variación	$CV = (s/X) * 100$	3,95%
Intervalos de Confianza del 95%	$\mu = x + tsx$	6,82
	$\mu = x - tsx$	5,79

Fuente: (MCS, 2024)

Figura 3-61. Grafica de resultados de NO₂ para la Estación 3 – La Ínsula



Fuente: (MCS, 2024)

Finalmente, para la Estación 3 – La ínsula los valores oscilaron entre 0,94µg/m³ y 26,63 µg/m³.

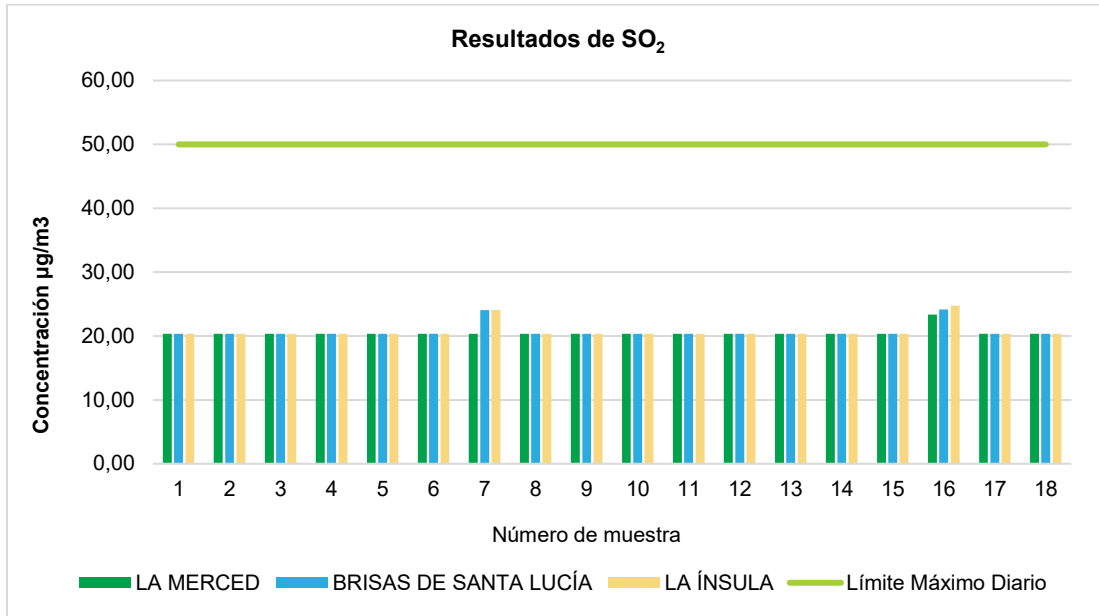
En términos generales, es importante resaltar que entre todas las estaciones el valor mínimo captado de fue de 0,94 µg/m³ y el valor máximo reportado fue de 37,73 µg/m³, así mismo, en cuanto al límite máximo permisible, ninguna de las estaciones obtuvo un valor por encima de los 200 µg/m³, lo que implica que hay un cumplimiento normativo total con respecto a las concentraciones de NO₂ (MCS, 2024).

- Dióxido de Azufre (SO₂)

Los resultados registrados de dióxido de azufre para cada una de las estaciones y su comparación con el límite máximo permisible se encuentran en la Figura 3-62 (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	81

Figura 3-62. Resultados de SO₂ para todas las estaciones



Fuente: (MCS, 2024).

En cuanto a las características de estos resultados, es importante aclarar que en todas las estaciones se registran valores indetectables o levemente superiores a 1,00 µg de SO₂, el cual es el límite cuantificable del método acreditado y que se representa en una concentración <20,34 µg/m³ para la mayoría de las mediciones, en cuanto al valor máximo obtenido este se presentó en la estación 3 (La ínsula) y es de 24,78 µg/m³ lo cual se relaciona con el tráfico presente en esta zona, además de las vías que se encuentran sin pavimentar, lo que genera aumento en los niveles de SO₂, ya que se encuentra directamente relacionada con la combustión, lo anterior indica que en su mayoría la presencia de este contaminante es baja y que se encuentra en pleno cumplimiento normativo al hallarse por debajo de los 50µg/m³ (MCS, 2024).

- Monóxido de Carbono (CO)

Para el caso del Monóxido de Carbono, los muestreos se realizaron en periodos de exposición de una (1) hora y de ocho (8) horas, los resultados obtenidos se presentan de las tablas Tabla 3-34 a Tabla 3-36 en las cuales se encuentra el resumen estadístico del comportamiento de este contaminante para cada estación, de lo cual es posible determinar que la estación 3 (La Ínsula) tiene los menores valores con una media de 149,05 µg/m³

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	82

relacionado con la predominante vegetación que se encuentra alrededor de la estación, ya que puede actuar como barrera física para la dispersión de contaminantes en el aire, y la estación 2 (Brisas de Santa Lucía) tiene los mayores con una medida de $183,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligados a la presencia de tráfico vehicular en la zona, el cual aumenta los niveles de CO debido a las emisiones de los vehículos, a partir de lo anterior y a las gráficas obtenidas (Ver. Figura 3-63 y Figura 3-64) es posible decir que en ninguna de las estaciones se excedieron los límites máximos permisibles de $35.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una (1) hora y de $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para ocho (8) horas, según lo establecido en la Resolución No. 2254 de 2017 (MCS, 2024).

Ahora bien, teniendo en cuenta los resultados específicos para cada estación, se tiene que en la estación 1 (La Merced) se evidenció pleno cumplimiento normativo, esto debido a que no se presentó ninguna excedencia de los dos límites normativos establecidos en la Resolución 2254 de 2017 de $35.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 1 hora (Figura 3-63) y $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 8 horas (Figura 3-64), con concentraciones máximas de $872,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $469,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabla 3-34), respectivamente (MCS, 2024).

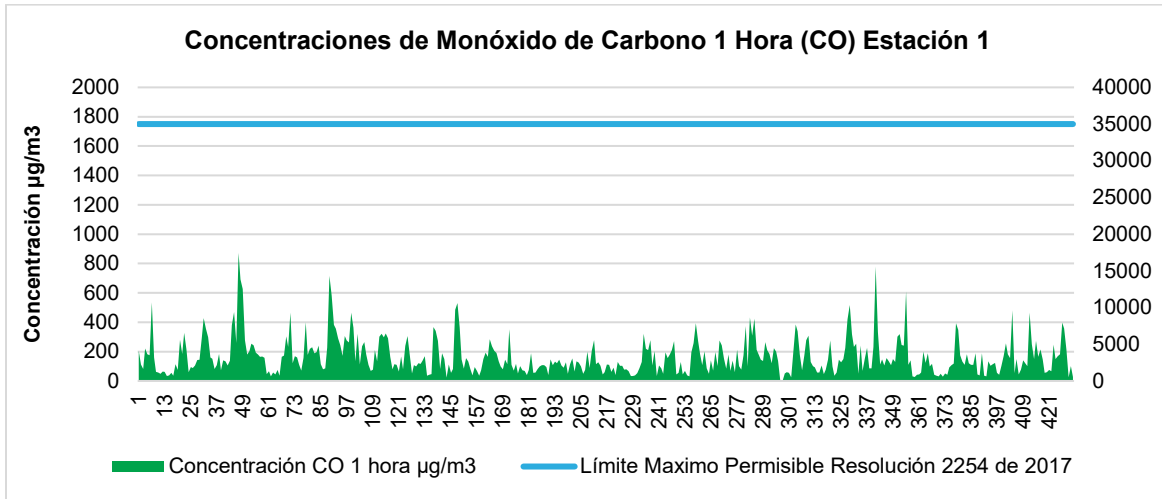
Tabla 3-34. Resumen estadístico de CO para la Estación 1 – La Merced

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE MONÓXIDO DE CARBONO – CO			
Estación 1– La Merced		1 hora	8 horas
Cantidad de Datos	N	430	425
Número de Muestras Validas	Mv	430	425
% Datos Validos	%DV	100%	100%
Valor máximo de Concentración	Max	872,04	469,40
Valor mínimo de Concentración	Min	22,90	46,71
Número de excedencias / Limite Horario	EL 8hr	0	NA
Número de excedencias / Limite 8 Horas	EL 8hr	NA	0
Promedio Aritmético	$X = \sum X/n$	164,74	164,76
Varianza	$S^2 = (\sum X^2 - (\sum X)^2/n)/(n-1)$	15578,26	4958,10
Desviación Estándar	$S = \sqrt{S^2}$	124,81	57,10
Desviación Estándar de la Media:	$SX = S/\sqrt{n}$	6,02	2,77
Coefficiente de Variación	$CV = (s/X) * 100$	3,65%	1,76%
Intervalos de Confianza del 95%	$\mu = x + tsx$	177,14	162,98
	$\mu = x - tsx$	152,34	151,57

Fuente: (MCS, 2024)

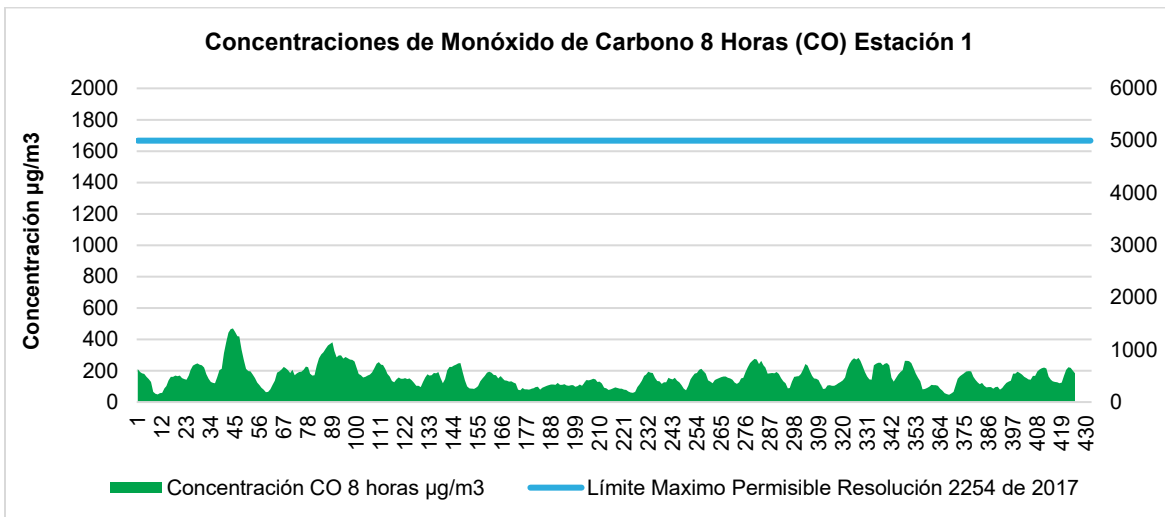
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	83

Figura 3-63. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 1 – La Merced



Fuente: (MCS, 2024).

Figura 3-64. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 1 – La Merced



Fuente: (MCS, 2024).

Los resultados en la estación 2 (Brisas De Santa Lucía) presentaron cumplimiento normativo en los límites establecidos en la Resolución 2254 de 2017 de $35.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 1 hora y $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 8 horas, tal y como se muestra en las Figura 3-65 y Figura 3-66, con concentraciones máximas de $1068,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $476,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, de acuerdo con la Tabla 3-35 (MCS, 2024).

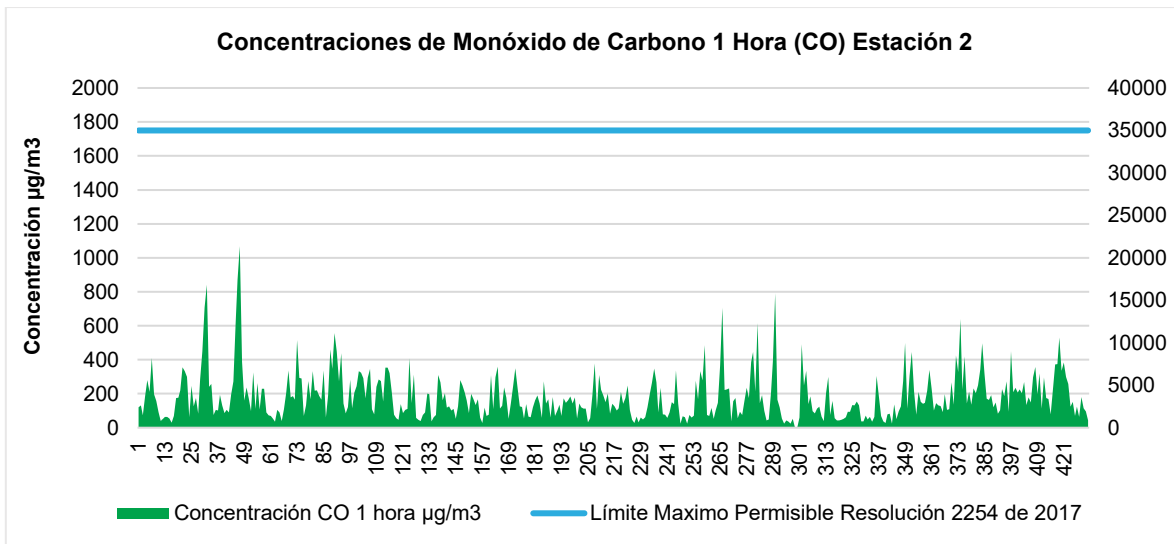
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	84

Tabla 3-35. Resumen estadístico de CO para la Estación 2 – Brisas de Santa Lucía

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE MONÓXIDO DE CARBONO – CO			
Estación 2– Brisas de Santa Lucía		1 hora	8 horas
Cantidad de Datos	N	430	425
Número de Muestras Validas	Mv	430	425
% Datos Validos	%DV	100%	100%
Valor máximo de Concentración	Max	1068,42	476,20
Valor mínimo de Concentración	Min	22,96	38,45
Número de excedencias / Limite Horario	EL 8hr	0	N/A
Número de excedencias / Limite 8 Horas	EL 8hr	N/A	0
Promedio Aritmético	$X = \sum X/n$	183,88	184,64
Varianza	$S^2 = (\sum X^2 - (\sum X)^2/n)/(n-1)$	19515,15	5777,14
Desviación Estándar	$S = \sqrt{S^2}$	139,70	76,01
Desviación Estándar de la Media:	$SX = S/\sqrt{n}$	6,74	3,69
Coeficiente de Variación	$CV = (s/X) * 100$	3,66%	2,00%
Intervalos de Confianza del 95%	$\mu = x + tsx$	197,76	192,23
	$\mu = x - tsx$	170,00	177,04

Fuente: (MCS, 2024)

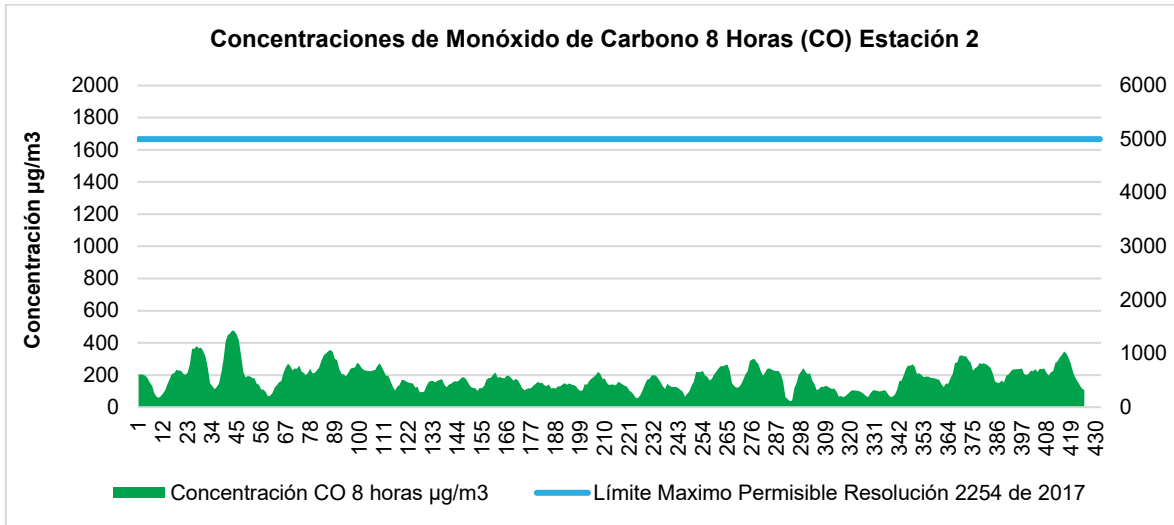
Figura 3-65. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 2 – Brisas de Santa Lucía



Fuente: (MCS, 2024)

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	85

Figura 3-66. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 2 – Brisas de Santa Lucía



Fuente: (MCS, 2024)

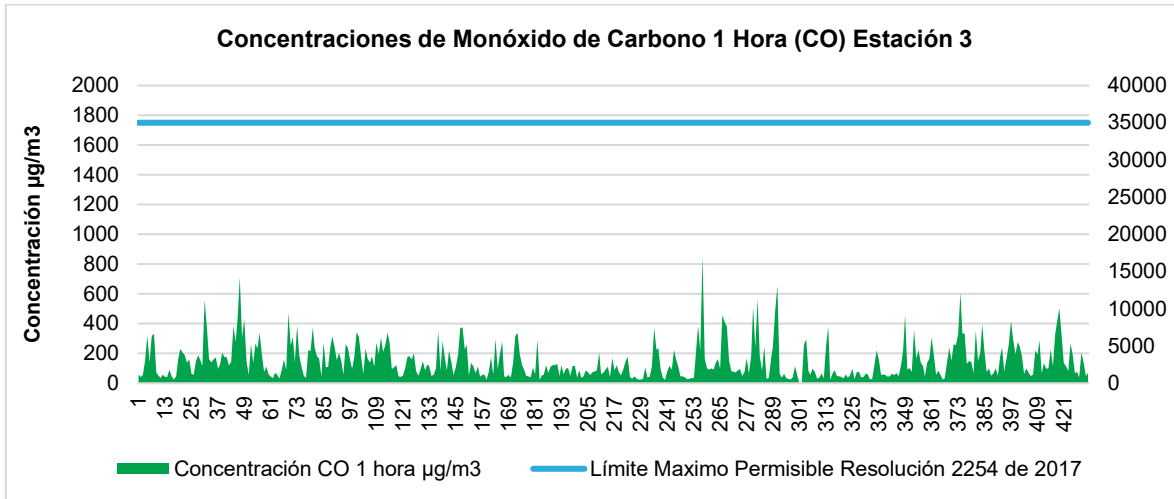
En la estación 3 (La Ínsula) se evidenció el pleno cumplimiento en los límites normativos establecidos en la Resolución 2254 de 2017 en 35.000 µg/m³ para 1 hora y 5.000 µg/m³ para 8 horas (Figura 3-67, Figura 3-68), con concentraciones máximas de 850,86 µg/m³ y 353,15 µg/m³ (Tabla 3-36), respectivamente (MCS, 2024).

Tabla 3-36. Resumen estadístico de CO para la Estación 3 – La Ínsula

RESUMEN ESTADÍSTICO MONITOREO CONTINUO DE MONÓXIDO DE CARBONO – CO			
Estación 3– La Ínsula		1 hora	8 horas
Cantidad de Datos	N	430	425
Número de Muestras Validas	Mv	430	425
% Datos Validos	%DV	100%	100%
Valor máximo de Concentración	Max	850,86	353,15
Valor mínimo de Concentración	Min	22,90	40,85
Número de excedencias / Limite Horario	EL 8hr	0	N/A
Número de excedencias / Limite 8 Horas	EL 8hr	N/A	0
Promedio Aritmético	X= SX/n	149,05	149,66
Varianza	S2=(SX2-(Sx)2/n)/(n-1)	14786,45	4171,56
Desviación Estándar	S=√S2	121,60	64,59
Desviación Estándar de la Media:	SX=S/√n	5,86	3,13
Coefficiente de Variación	CV=(s/X)*100	3,93%	2,09%
Intervalos de Confianza del 95%	μ=x + tsx	161,13	156,12
	μ=x - tsx	136,97	143,21

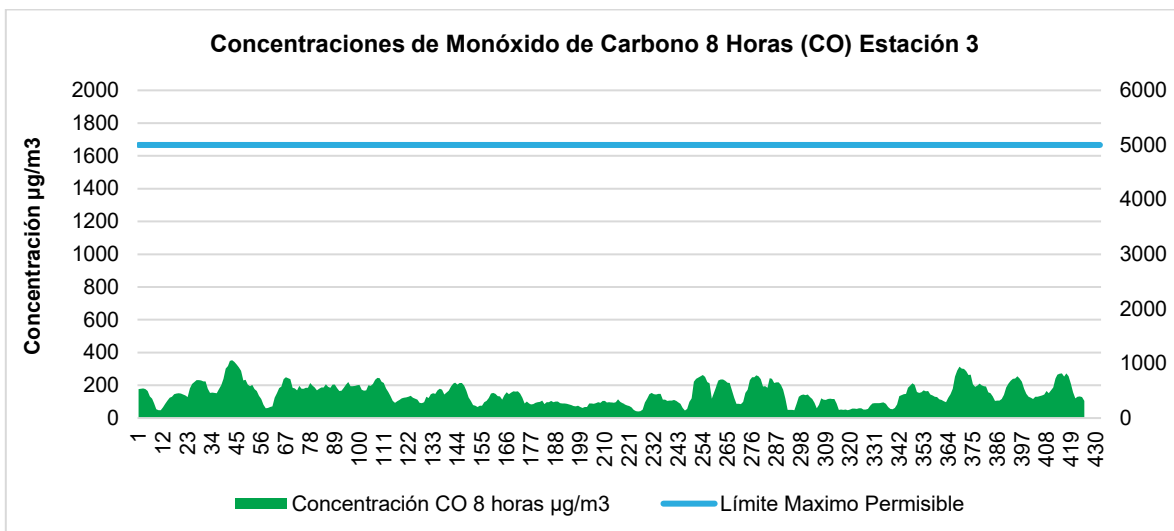
Fuente: (MCS, 2024)

Figura 3-67. Concentraciones de Monóxido de Carbono 1 hora Estación 3 – La Ínsula



Fuente: (MCS, 2024)

Figura 3-68. Concentraciones de Monóxido de Carbono 8 horas Estación 3 – La Ínsula



Fuente: (MCS, 2024)

- Hidrocarburos Totales (HCT)

Los resultados registrados de HCT presentaron valores por debajo del límite de detección del método, correspondiente a 0,008 μg , esto representa una concentración de $<2,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual indica baja presencia de este contaminante en la zona de monitoreo, lo cual indica que la presencia de estos contaminantes en el área de estudio es baja, sin embargo, al no tener un límite establecido no es posible emitir un juicio normativo, pero si permite inferir

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	87

que dentro de la zona no hay fuentes que generen emisiones significativas y por lo tanto su concentración es muy baja (MCS, 2024).

- Índice de Calidad del Aire (ICA)

Dentro de los análisis de resultados de los monitoreos de calidad del aire se encuentra el Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual permite determinar el estado de la calidad del aire actual por medio de la aplicación de la Ecuación 3-1 que hace parte de la metodología utilizada por la EPA para el cálculo del AQI, de lo cual será reportado el mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos,

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Ecuación 3-1

Donde:

I_p = Índice para el contaminante p

C_p = Concentración medida para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p

I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}

A fin de poder aplicar la ecuación para el ICA y así mismo interpretar los resultados es necesaria la información que se indica en la Tabla 3-37, en la cual se indican los puntos de corte y el código de colores al cual están asociados los efectos generales que se deben tener definidos para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de las comunidades (MADS, 2017).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	88

Tabla 3-37. Puntos de Corte e Indicadores de Color ICA

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	PM ₁₀ 24h µg/m ³ .	PM _{2.5} 24h µg/m ³ .	CO 8h µg/m ³ .	SO ₂ 1h µg/m ³ .	NO ₂ 1h µg/m ³ .	O ₃ 8h µg/m ³ .	O ₃ 1h µg/m ³ .
0 - 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0,0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	-
51 - 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 136	-
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	155 - 354	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 - 300	Morado	Muy Dañina a la Salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 300	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394 ⁽²⁾	795 - 1185

⁽²⁾ El ICA de ozono de 8 horas no será calculado para concentraciones superiores a 394 µg/m³ Para valores superiores se realiza únicamente el cálculo de ICA de ozono para 1 hora

Fuente: (MADS, 2017)

A partir de lo anterior, se calcula el valor del ICA para PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂ y O₃, para las 3 estaciones durante los 18 días de monitoreo. Para cada uno de los contaminantes es graficado el resultado en cada una de las estaciones, en donde cada barra registra el número de muestras y su respectivo indicador de color (MCS, 2024).

Para PM₁₀ y PM_{2.5} la cantidad de muestras es de 18, para las cuales la calidad del aire es “Buena”, en cuyo caso según el artículo 19 de la Resolución No. 2254 del 2017 de MADS, la contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	89

Figura 3-69 Índice Calidad del Aire PM₁₀

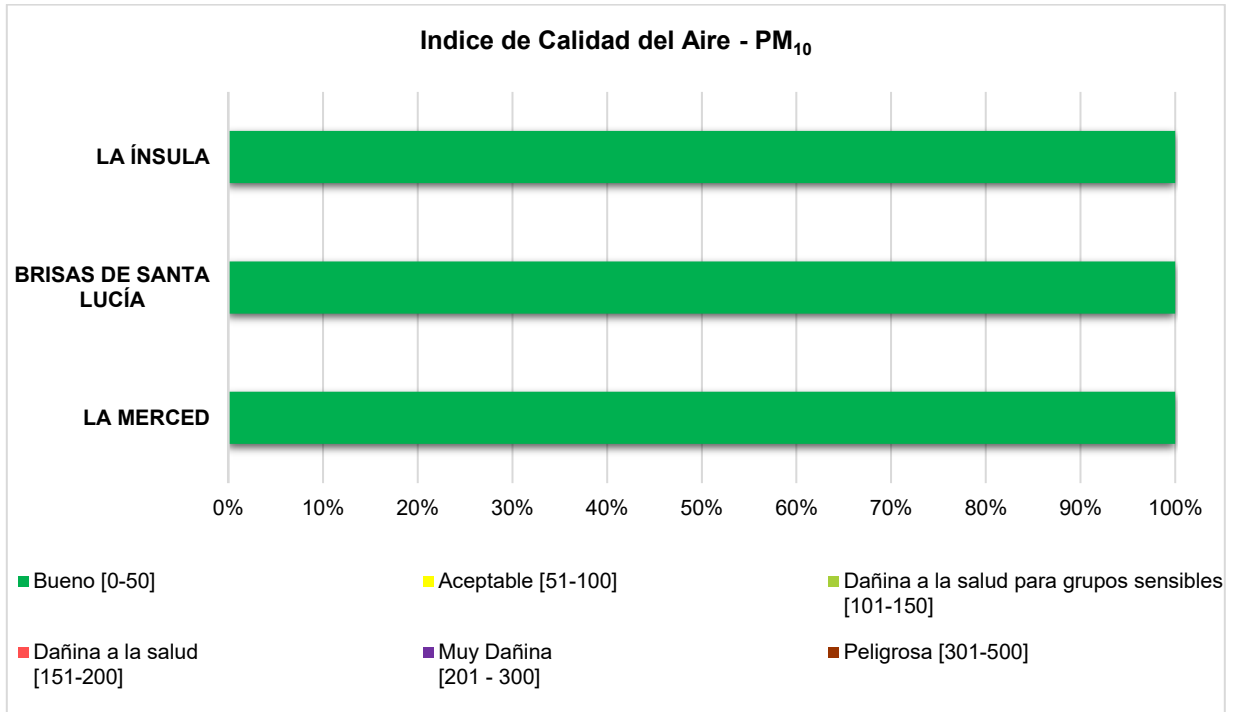
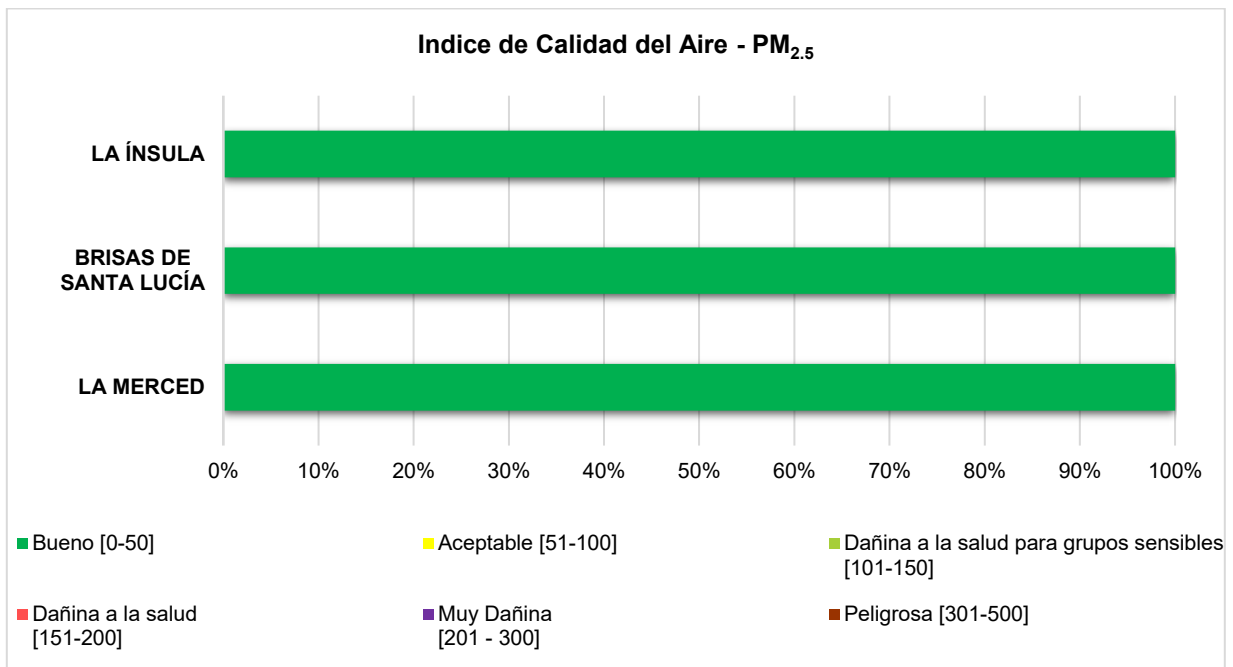


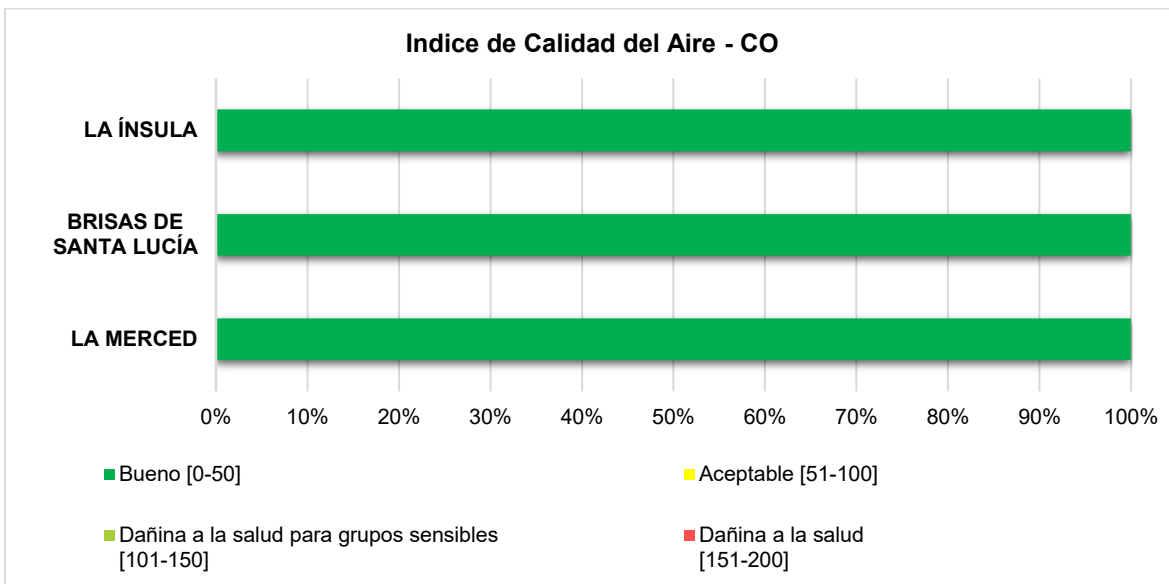
Figura 3-70 Índice Calidad del Aire PM_{2.5}



Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	90

Para Monóxido de Carbono (CO) se toma el periodo de monitoreo a 8 horas, de lo cual se obtuvo un total de 425 muestras para cada estación, estos resultados fueron analizadas para obtener el índice de calidad del aire que dio como resultado que la calidad del aire es “Buena”, mientras que para el Dióxido de Nitrógeno (NO₂) el muestreo fue cada hora, para un total de 430 muestras para cada estación, resultados para los cuales fue analizado el Índice de Calidad del Aire - ICA que dio como resultados niveles buenos de calidad del aire en el área monitoreada (MCS, 2024).

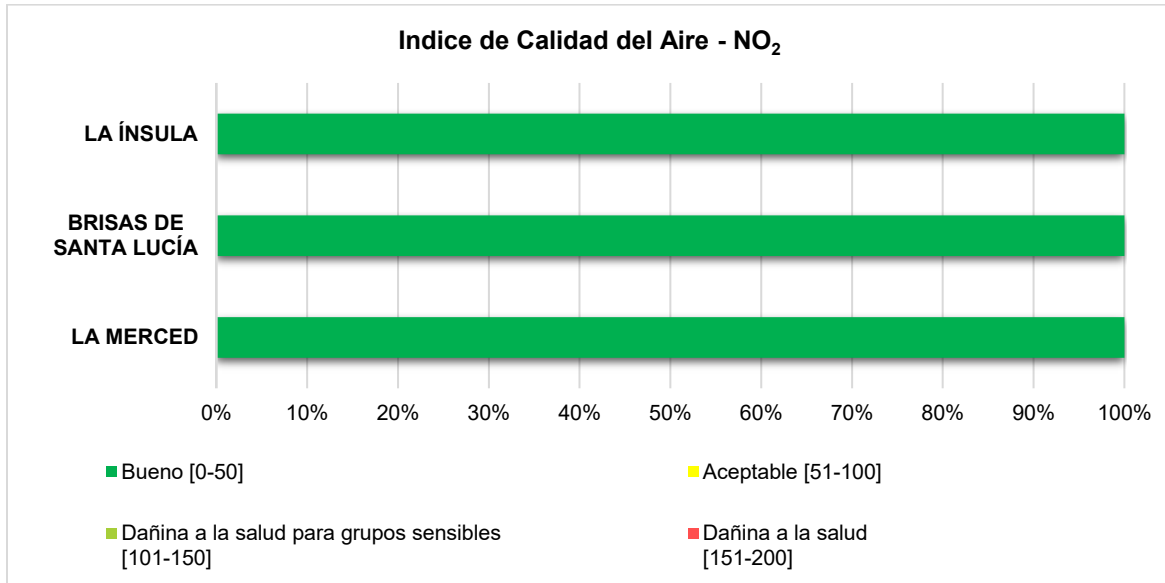
Figura 3-71 Índice Calidad del Aire CO



Fuente: (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	91

Figura 3-72 Índice Calidad del Aire NO₂



Fuente: (MCS, 2024)

3.2.9.3 Ruido Ambiental

Hace referencia a los sonidos con altos niveles de presión sonora que generan una sensación auditiva no deseada, y posibles afectaciones a la salud, al bienestar de las comunidades y de los ecosistemas circundantes a la fuente de ruido. Algunos de los síntomas que puede provocar la exposición a ruidos que exceden los límites de presión sonora son el dolor de cabeza, desórdenes mentales, afectaciones a la audición, entre otras patologías.

Para la recolección de datos de presión sonora, se ubicaron en el Área de Influencia del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de la estación de compresión de Palestina, puntos de monitoreo de ruido ambiental para realizar mediciones en horario diurno y nocturno para día hábil y festivo.

Los monitoreos fueron realizados por la empresa Consultoría y Monitoreo Ambiental S,A,S, (MCS), acreditado por el IDEAM para tal actividad, las mediciones de los Niveles de Presión Sonora (NPS), se desarrollaron durante los días 23 al 29 de junio de 2024, posterior a ello se realizó la comparación con la normatividad ambiental vigente estipulada en la Resolución

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	92

N° 627 del 7 de abril de 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

3.2.9.3.1 Fuentes generadores de ruido

Dentro de las fuentes a tener en cuenta, se tienen las asociadas a la fauna local considera como una fuente de ruido intermitente, puntual e impulsivo por no presentarse de manera continua en el área de estudio, y al tránsito de vehículos, que es una fuente de ruido intermitente lineal de carácter impulsivo por ser breve y abrupta y tonal por las propiedades de sus motores (MCS, 2024).

3.2.9.3.2 Potenciales receptores

Se consideran como receptores todos los puntos de interés social como asentamientos centros educativos e infraestructura que se pueden ver potencialmente afectados por una actividad, que para este caso serán todas las relacionadas con la ejecución del proyecto, para las cuales los receptores identificados son los relacionados en la [Tabla 3-38](#) y como se muestra en la [Figura 3-73](#).

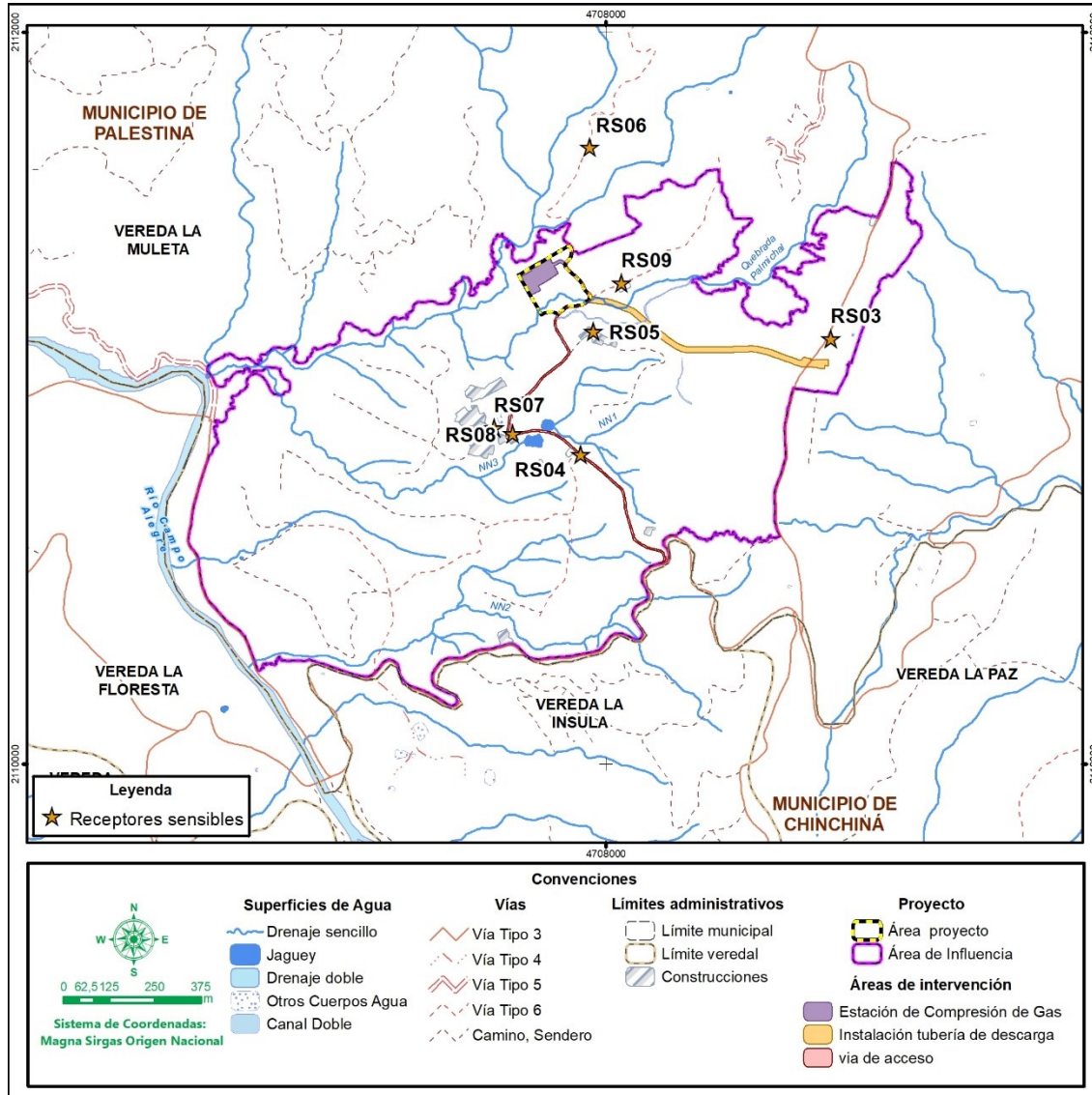
Tabla 3-38 Receptores Sensibles - Ruido

ID	NOMBRE	ESTE	NORTE
RS03	Condominio Las Palmas	4708616.5	2111161.6
RS04	Casa Insula	4707931.0	2110844.5
RS05	El aplique la Insula	4707966.5	2111182.3
RS06	Hacienda La Merced	4707956.3	2111685.5
RS07	Mayoría La Insula	4707694.8	2110918.3
RS08	vivienda La Insula	4707745.3	2110901.5
RS09	Vivienda La Merced	4708042.8	2111314.2

Fuente: CONSGA S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	93

Figura 3-73 Receptores Sensibles - Ruido



Fuente: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

3.2.9.3.3 Monitoreos de ruido

A continuación, se especifican las metodologías, equipos y cálculos realizados para la estimación de los niveles de presión sonora del área de influencia, finalmente se encontrarán los resultados comparados con los niveles máximos permisibles indicados en la norma; en *Anexos\J. MONITOREOS\4 Ruido* se encuentra el reporte de laboratorio del monitoreo de ruido ambiental.

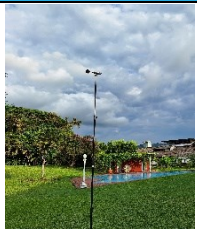
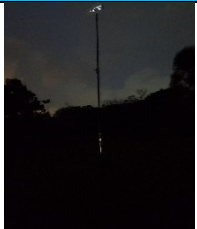

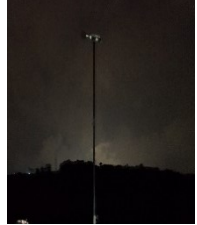
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	94

3.2.9.3.3.1 Localización puntos de monitoreo





Para la localización de los puntos de muestreo el equipo de profesionales encargado del monitoreo, realizó un reconocimiento del lugar, con el fin de realizar mediciones en diferentes puntos localizados en el área del estudio. De este modo, se realizaron mediciones en cuatro (4) puntos de ruido ambiental, en horario diurno y nocturno, en día hábil y en día no hábil, la ubicación de los puntos de monitoreo se determinó bajo la consideración de dar el mayor cubrimiento posible al área de estudio y los sectores respectivos de ruido establecidos en la normatividad vigente (MCS, 2024).

La localización de los puntos de muestreo se describe en la Tabla 3-39 y en la Figura 3-74, se muestra la ubicación general sobre los planos de los puntos de monitoreo de ruido ambiental dispuestos para el presente estudio (MCS, 2024).

Tabla 3-39 Ubicación de los puntos de monitoreo para ruido

Punto de Monitoreo	Imagen Monitoreo Diurno	Imagen Monitoreo Nocturno	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)	Sector de Restricción Resolución N° 627 de 2006
			DMS Origen Nacional	Geográficas Datum WGS 84		
Ruido ambiental						
RA1. Finca La Ínsula			E 4707669 N 2110968	N 4°59'56,38" W 75°38'13,92"	1328	D
RA2. Finca La Merced			E 4707817 N 2111281	N 5°00'6,58" W 75°38'09,16"	1323	D

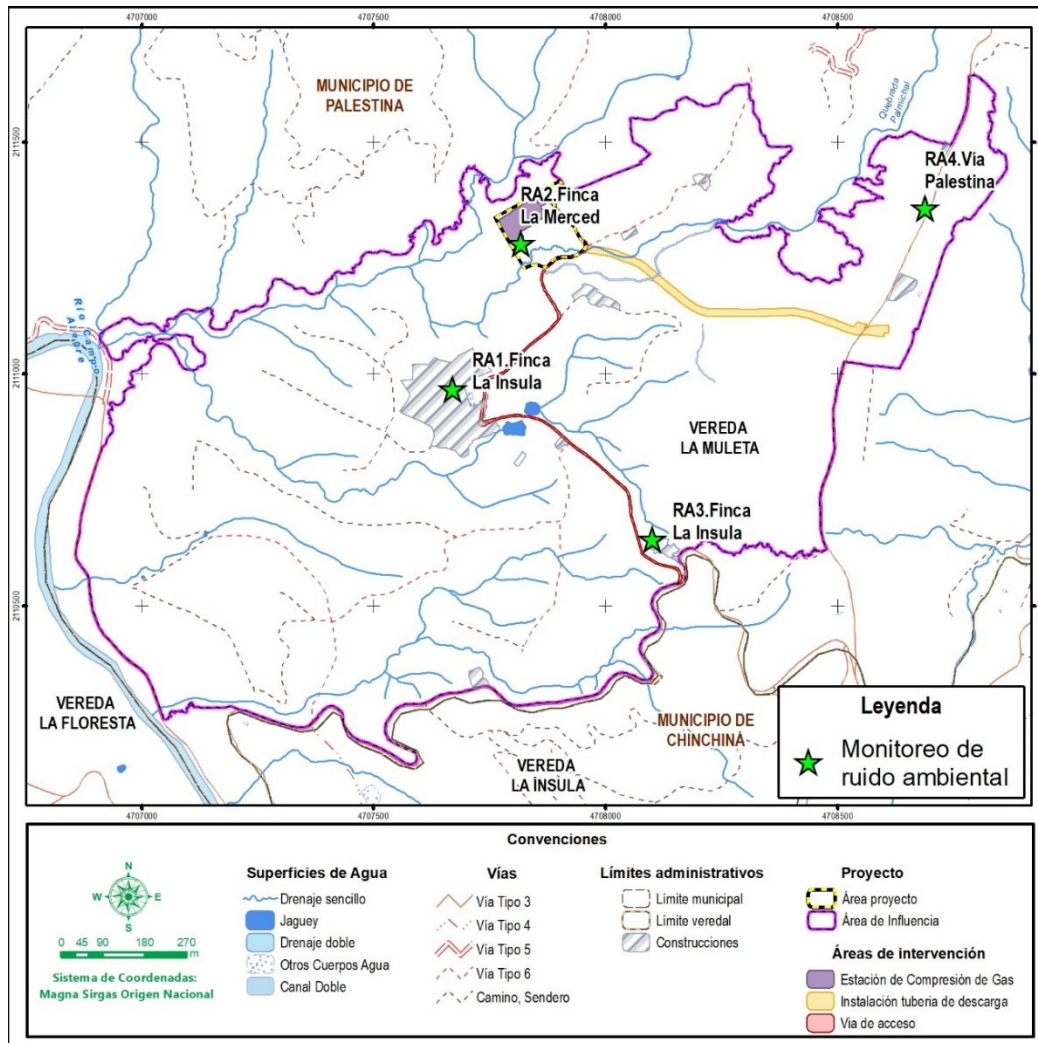
Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	95

Punto de Monitoreo	Imagen Monitoreo Diurno	Imagen Monitoreo Nocturno	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)	Sector de Restricción Resolución N° 627 de 2006
			DMS Origen Nacional	Geográficas Datum WGS 84		
RA3. Finca La Ínsula			E 4708100 N 2110644	N 4°59'45,89" W 75°37'59,89"	1368	D
RA4. Vía Palestina			E 4708687 N 2111357	N 5°00'9,17" W 75°37'40,94"	1449	D

Fuentes: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	96

Figura 3-74 Georreferenciación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental



Fuentes: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Condiciones Generales: Las mediciones se hicieron en dirección de las cinco (5) coordenadas geográficas (Norte, Este, Sur, Oeste y Vertical), distribuida uniformemente en la hora hasta obtener 40 minutos de captura de información por cada hora monitoreada, Se realizó el monitoreo teniendo en cuenta las actividades cotidianas de la población en las fechas definidas Tabla 3-40 (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	97
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-40. Días de monitoreo para ruido

DÍA HÁBIL (DIURNO Y NOCTURNO)	DÍA NO HÁBIL (DIURNO Y NOCTURNO)
28 y 29 de junio de 2024	23 y 24 de junio de 2024

Fuentes: CONSGA BIC S.A.S., 2024.

Lo anterior de conformidad con la Resolución No. 0627 de 2006, así mismo se establecieron los siguientes horarios de monitoreo: Diurno entre las 07:01 y las 21:00 horas y Nocturno entre las 21:01 y las 07:00 horas, según lo dispuesto en el Artículo 2 del capítulo 1 de esta misma norma.

3.2.9.3.3.2 Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados y análisis del monitoreo de ruido ambiental durante el horario diurno y nocturno en los puntos de monitoreo establecidos. Teniendo en cuenta los usos del suelo definidos, esta valoración toma las mediciones en campo (L_{eq}) hechas en ponderación A y tiempo de respuesta S y las compara con la normatividad ambiental vigente (MCS, 2024).

- *Monitoreo Ruido Ambiental Diurno*

Dentro de la Resolución N° 627 del 7 de abril de 2006 en su Artículo 9, se establecen sectores de restricción para los cuales son definidos los límites máximos permisibles de emisión de ruido. A partir de lo anterior, es definido para el área de estudio el Sector D “Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado” subsector “Rural habitada destinada a explotación agropecuaria” con un límite máximo permisible de 55 dB para el horario diurno, aplicado para todas las estaciones de monitoreo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante los monitoreos en horario diurno para día hábil y no hábil.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	98
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	----

Tabla 3-41. Resultados Medición de ruido ambiental horario diurno

Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –Sector D														
Punto de Monitoreo	Dirección					L _{Aeq} dB	Límite Máximo Permissible dB	Cumple	Estadística			Fecha	Hora Inicial	Hora Final
	N	E	S	O	V				SD	CV	IC			
RA1. Finca La Ínsula	56,6	54,2	56,9	57	56,6	56,4	55	NO	1,1	2,00%	1,5	28/06/2024	9:30:00	10:30:00
	57,1	56,3	56,8	56,3	56,9	56,7	55	NO	0,4	0,60%	0,4	23/06/2024	9:10:00	10:10:00
RA2. Finca La Merced	59,2	55,6	55,8	54,5	58,6	57,1	55	NO	2,1	3,60%	2,6	28/06/2024	10:50:00	11:50:00
	58,1	56,8	52	57,6	52,6	56,1	55	NO	2,9	5,20%	3,7	23/06/2024	15:40:00	16:40:00
RA3. Finca La Ínsula	57,7	56	55,8	56,7	56,3	56,6	55	NO	0,7	1,30%	1	28/06/2024	12:10:00	13:10:00
	56,3	56,7	59,7	58,1	58,7	58,1	55	NO	1,4	2,50%	1,8	23/06/2024	13:00:00	14:00:00
RA4. Vía Palestina	61,7	60,8	60	60,7	61,7	61	55	NO	0,7	1,20%	0,9	28/06/2024	13:30:00	14:30:00
	60,7	61,8	63,8	63,9	59,1	62,2	55	NO	2,1	3,30%	2,6	23/06/2024	14:20:00	15:20:00

SD: Desviación estándar. **CV:** Coeficiente de variación. **IC:** Intervalo de confianza.

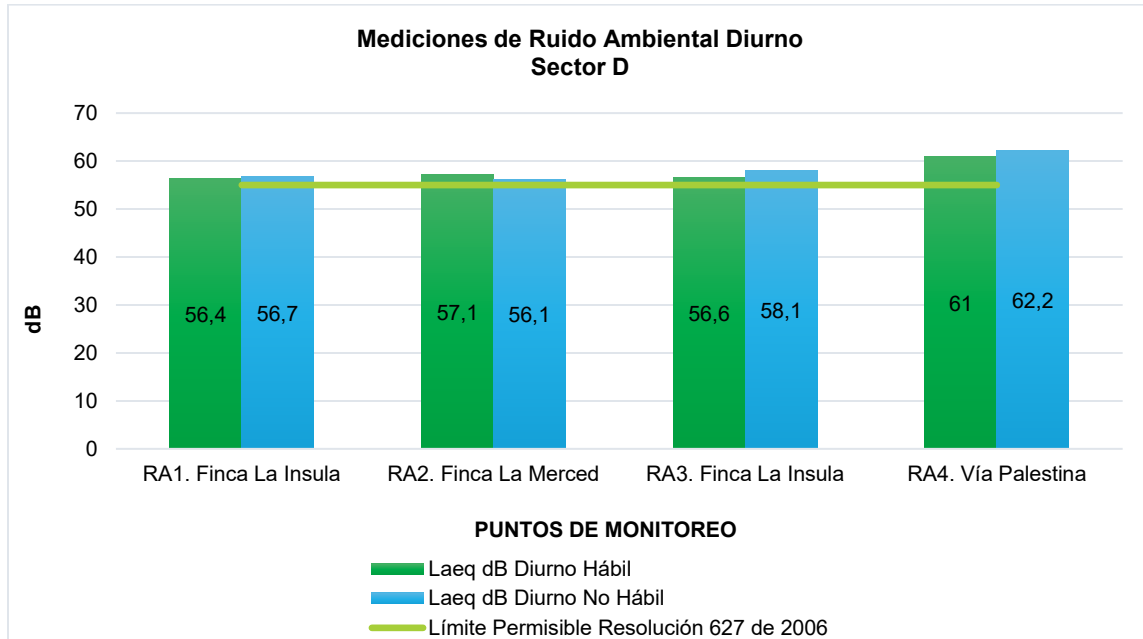
Mediciones realizadas en día no hábil

Fuente: (MCS, 2024)

De acuerdo con los puntos de ruido ambiental clasificados en el sector de restricción D, según las actividades evidenciadas en la zona, registraron niveles de presión sonora que se alojaron en un rango de 56,4 dB (RA1. Finca La Ínsula) a 61,0 dB (RA4. Vía Palestina) en día hábil, en tanto que en día no hábil los valores variaron entre 56,1 dB y 62,2 dB, donde el menor resultado se obtuvo en el punto RA2. Finca La Merced y el mayor en el punto RA4. Vía Palestina (Tabla 3-41), evidenciando en todos los puntos de monitoreo se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido en la Resolución N° 627 del 7 de abril de 2006 (55 dB), como se observa en Figura 3-75 (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	99

Figura 3-75 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D



Fuente: (MCS, 2024).

Los valores reportados se atribuyen a los sonidos naturales del entorno, donde se identificaron los sonidos emitidos por la fauna de la zona como lo son los grillos y los pájaros, así como el paso esporádico de vehículos en el punto RA4. Vía Palestina, en donde para la jornada hábil se registró el paso de 5 bicicletas, 31 motos, 11 automóviles, 11 camionetas y 3 vehículos tipo C2P, por su parte en jornada no hábil se registró el paso de 7 bicicletas, 24 motos, 22 automóviles, 3 camionetas, 1 microbús y 1 vehículo tipo C2P, por lo que, es importante mencionar que la variación en los niveles de presión sonora registrados, se atribuyen a las condiciones normales naturales del medio y a las actividades cotidianas desarrolladas en la zona. Cabe resaltar que no se evidenciaron fuentes permanentes de ruido durante el monitoreo realizado en los diferentes puntos de monitoreo tanto para día como para día no hábil (MCS, 2024).

Teniendo en cuenta los resultados presentados anteriormente y su análisis frente al límite máximo permisible normativo (55db), y que en todas los puntos monitoreados este valor es superado se acoge el parágrafo 2° del artículo 17 de la Resolución 627 de 2006 *“En los sectores y/o subsectores donde los estándares máximos permisibles de ruido ambiental de la tabla 2, son superados a causa de fuentes de emisión naturales, sin que exista*

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	100

intervención del hombre, los estándares máximos permisibles de ruido ambiental son los niveles de ruido naturales, como en el caso de cascadas, sonidos de animales en zonas o parques naturales”. En este sentido se establece como límite máximo permisible 58,1 dB que es el valor registrado para el día no hábil en la estación RA3 (Finca la Ínsula), resaltando que se excluyen los resultados de la estación RA4 para el análisis del límite a escoger, debido a que en esta estación hay influencia de actividades antrópicas por cuanto sus niveles de ruido registrados no se deben netamente a condiciones naturales del medio.

Con base en el nuevo límite establecido, se analizan los resultados obtenidos del monitoreo, que de acuerdo con la información presentada en la Tabla 3-42 y en la Figura 3-76 las estaciones RA1, RA2 y RA3 cumplen con el límite en los monitoreos realizados en día hábil y no hábil. Sin embargo, la estación RA4 no cumple con el límite debido a la influencia de actividades antrópicas, específicamente el paso vehicular sobre la vía, como se mencionó anteriormente.

Tabla 3-42 Resultados ruido ambiental horario diurno – Análisis Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006

Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –Sector D														
Punto de Monitoreo	Dirección					L _{Aeq} dB	Límite Máximo Permisible dB	Cumplimiento	Estadística			Fecha	Hora Inicial	Hora Final
	N	E	S	O	V				SD	CV	IC			
RA1. Finca La Ínsula	56,6	54,2	56,9	57	56,6	56,4	58,1	SI	1,1	2,00%	1,5	28/06/2024	9:30:00	10:30:00
	57,1	56,3	56,8	56,3	56,9	56,7	58,1	SI	0,4	0,60%	0,4	23/06/2024	9:10:00	10:10:00
RA2. Finca La Merced	59,2	55,6	55,8	54,5	58,6	57,1	58,1	SI	2,1	3,60%	2,6	28/06/2024	10:50:00	11:50:00
	58,1	56,8	52	57,6	52,6	56,1	58,1	SI	2,9	5,20%	3,7	23/06/2024	15:40:00	16:40:00
RA3. Finca La Ínsula	57,7	56	55,8	56,7	56,3	56,6	58,1	SI	0,7	1,30%	1	28/06/2024	12:10:00	13:10:00
	56,3	56,7	59,7	58,1	58,7	58,1	58,1	SI	1,4	2,50%	1,8	23/06/2024	13:00:00	14:00:00
RA4. Vía Palestina	61,7	60,8	60	60,7	61,7	61	58,1	NO	0,7	1,20%	0,9	28/06/2024	13:30:00	14:30:00
	60,7	61,8	63,8	63,9	59,1	62,2	58,1	NO	2,1	3,30%	2,6	23/06/2024	14:20:00	15:20:00

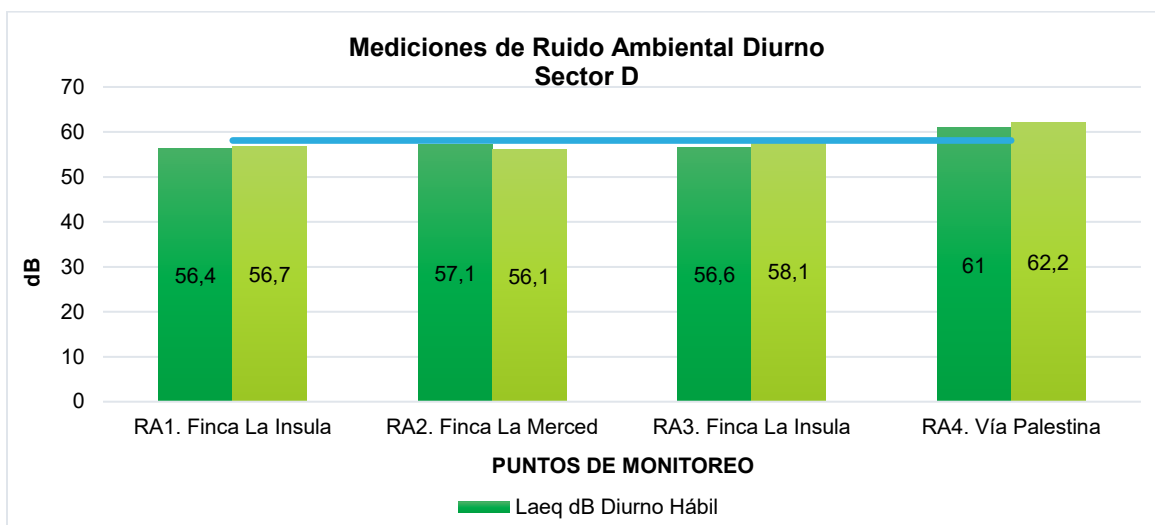
SD: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación. IC: Intervalo de confianza.

Mediciones realizadas en día no hábil

Fuente: (MCS, 2024) Adaptado por CONSGA BIC S.A.S

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	101

Figura 3-76 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D – Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006



Fuente: CONSGA BIC S.A.S, 2024

- Monitoreo Ruido Ambiental Nocturno

En la Tabla 3-43, se aprecian los resultados para el horario nocturno en día hábil y no hábil en los puntos localizados en este sector de restricción”, subsector “residencial suburbana” y subsector “Rural habitada destinada a explotación agropecuaria” en la cual se establece un límite máximo permisible de 45 dB para horario nocturno.

Tabla 3-43 Resultados Medición de ruido ambiental horario nocturno

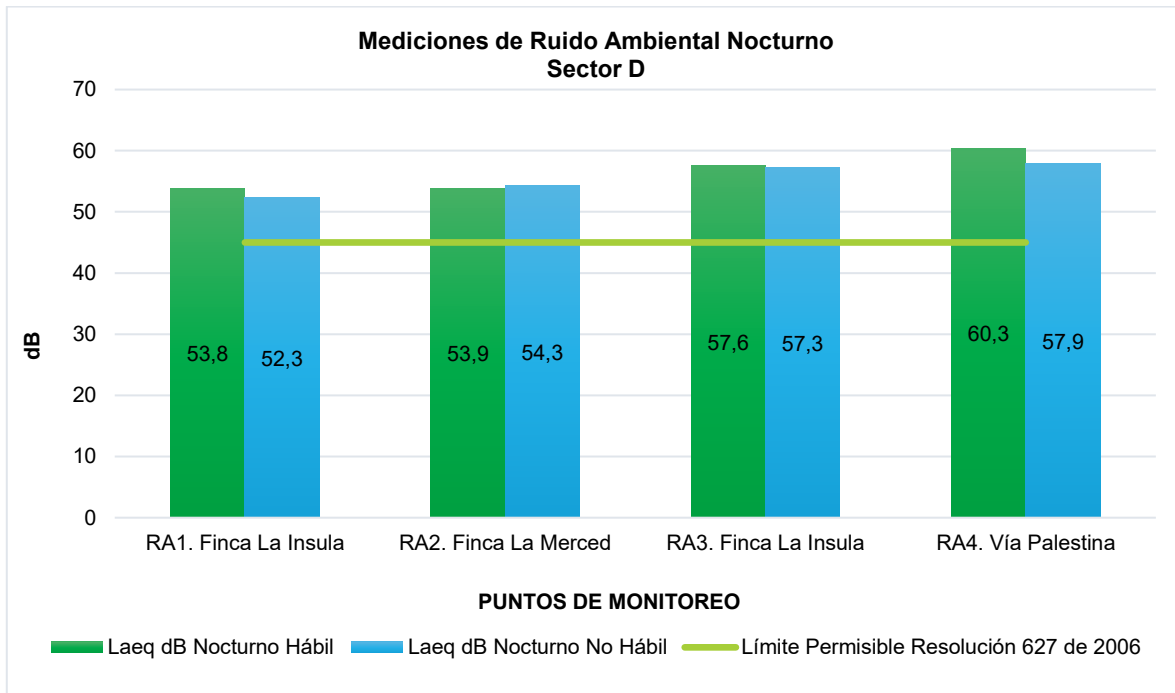
Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –Sector D														
Punto de Monitoreo	Dirección					LAEq dB	Límite Máximo Permisible dB	Cumplimiento	Estadística			Fecha	Hora Inicial	Hora Final
	N	E	S	O	V				SD	CV	IC			
RA1. Finca La Insula	53,4	52,8	55,2	55,3	51,3	53,8	45	NO	1,7	3,1%	2,2	28/06/2024	22:45:00	23:45:00
	53,2	52,4	49,4	50,5	54,3	52,3	45	NO	2,0	3,8%	2,6	24/06/2024	00:40:00	01:40:00
RA2. Finca La Merced	50,2	55,1	55,1	54,2	53,4	53,9	45	NO	2,1	3,8%	2,6	29/06/2024	00:05:00	01:05:00
	54,4	52,0	52,7	52,3	57,4	54,3	45	NO	2,2	4,1%	2,8	23/06/2024	23:35:00	00:35:00
RA3. Finca La Insula	58,8	57,2	57,4	56,9	57,4	57,6	45	NO	0,8	1,3%	1,0	29/06/2024	01:20:00	02:20:00
	56,5	56,0	56,6	57,7	59,0	57,3	45	NO	1,2	2,1%	1,6	23/06/2024	22:20:00	23:20:00
RA4. Vía Palestina	58,7	60,0	63,0	59,7	58,0	60,3	45	NO	1,9	3,2%	2,5	28/06/2024	21:20:00	22:20:00
	55,7	59,1	56,7	54,2	60,8	57,9	45	NO	2,7	4,6%	3,4	23/06/2024	21:10:00	22:10:00

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	102

Fuente: (MCS, 2024)

Los niveles de presión sonora registrados en horario nocturno presentaron sobrepasos en la totalidad de las mediciones respecto al límite máximo permisible (45 dB) establecido en la Resolución N° 627 del 7 de abril de 2006, presentando niveles de presión sonora de 53,8 dB (RA1. Finca La Ínsula) a 60,3 dB (RA4. Vía Palestina) en día hábil, mientras que, en día no hábil, se obtuvieron NPS de 52,3 dB (RA1. Finca La Ínsula) a 57,9 dB (RA4. Vía Palestina), presentando sobrepasos que oscilaron de 8,8 dB a 15,3 dB para el día hábil, correspondiendo a los puntos RA1. Finca La Ínsula y RA4. Vía Palestina respectivamente, y en día no hábil, de 7,3 dB a 12,9 dB en los mismos puntos respectivos, como se observa en la Figura 3-77 (MCS, 2024).

Figura 3-77 Gráfica de ruido horario nocturno - Sector D



Fuente: (MCS, 2024).

Los resultados registrados se relacionan a las fuentes de ruido esporádicas percibidas durante el monitoreo, por lo que se percibieron los sonidos producidos por la fauna local compuesta por pájaros, grillos, ranas, y el paso esporádico de vehículos en el punto RA4. Vía Palestina, en donde por jornada hábil se registró el paso de 28 motos, 8 automóviles y

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	103

5 camionetas, por su parte en jornada no hábil re registró el paso de 3 bicicletas, 12 motos, 5 automóviles, 5 camionetas y 1 microbús. Cabe mencionar que no se identificaron fuentes de ruido permanentes durante el monitoreo (MCS, 2024).

De acuerdo con el análisis realizado, los resultados obtenidos de los monitoreos realizados en horario nocturno exceden el límite máximo permisible establecido por la norma se aplica lo establecido en el parágrafo del 2° del artículo 17 de la Resolución 627 de 2006 que indica: *“En los sectores y/o subsectores donde los estándares máximos permisibles de ruido ambiental de la tabla 2, son superados a causa de fuentes de emisión naturales, sin que exista intervención del hombre, los estándares máximos permisibles de ruido ambiental son los niveles de ruido naturales, como en el caso de cascadas, sonidos de animales en zonas o parques naturales”*. En este sentido se establece como límite máximo permisible 57,6 dB que es el valor registrado para el día no hábil en la estación RA3 (Finca la Ínsula). Cabe aclarar que los resultados de la estación RA4 no se incluyen en el análisis del límite a escoger, debido a que los resultados en este punto en comparación con los anteriores si tiene influencia de actividades antrópicas por el tráfico vehicular.

En este sentido, a continuación, se realizan los análisis a partir del nuevo límite establecido, con el cual, como se evidencia en la Tabla 3-44 y la Figura 3-63, se registra cumplimiento para las estaciones RA1, RA2 y RA3, pero no para la estación RA4. Este incumplimiento en la estación RA4 se atribuye a la influencia del tráfico vehicular en la zona, en contraste con las demás estaciones, donde los resultados están determinados por condiciones naturales.

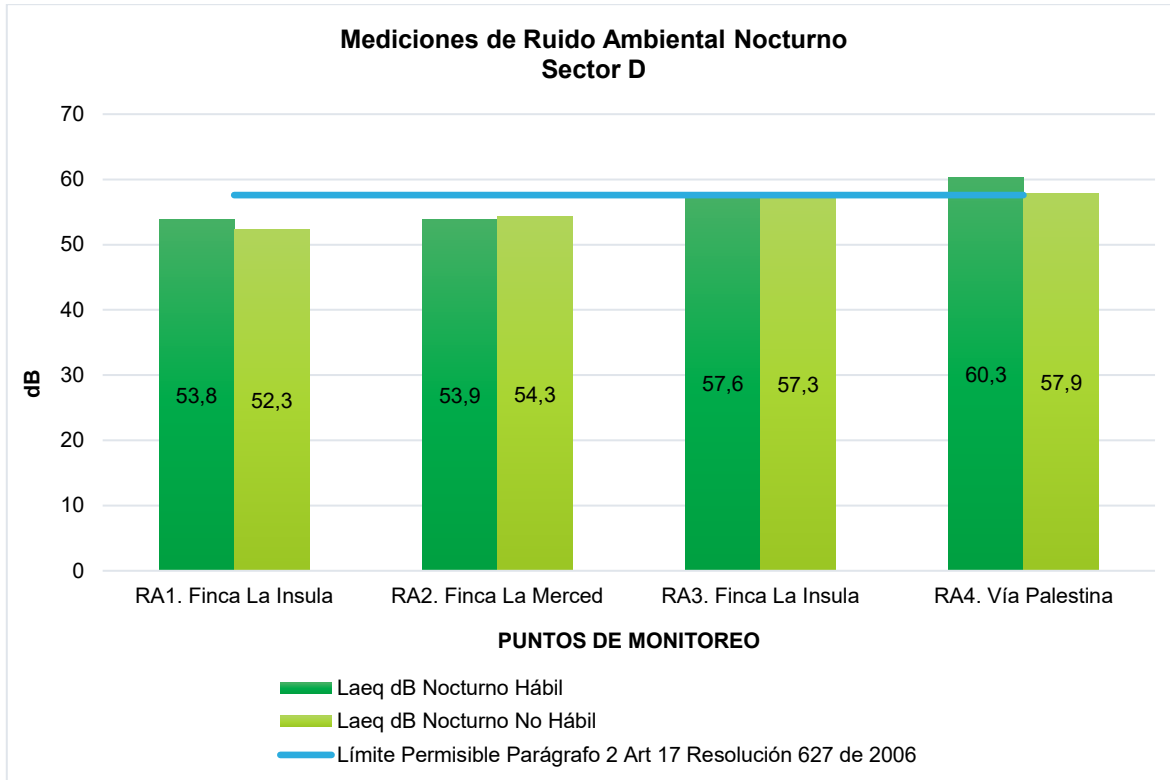
**Tabla 3-44 Resultados ruido ambiental horario nocturno – Análisis Parágrafo 2
Artículo 17 Res 627 de 2006**

Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –Sector D														
Punto de Monitoreo	Dirección					LAeq dB	Límite Máximo Permisible dB	Cumple	Estadística			Fecha	Hora Inicial	Hora Final
	N	E	S	O	V				SD	CV	IC			
RA1. Finca La Ínsula	53,4	52,8	55,2	55,3	51,3	53,8	57,6	SI	1,7	3,1%	2,2	28/06/2024	22:45:00	23:45:00
	53,2	52,4	49,4	50,5	54,3	52,3	57,6	SI	2,0	3,8%	2,6	24/06/2024	00:40:00	01:40:00
RA2. Finca La Merced	50,2	55,1	55,1	54,2	53,4	53,9	57,6	SI	2,1	3,8%	2,6	29/06/2024	00:05:00	01:05:00
	54,4	52,0	52,7	52,3	57,4	54,3	57,6	SI	2,2	4,1%	2,8	23/06/2024	23:35:00	00:35:00
RA3. Finca La Ínsula	58,8	57,2	57,4	56,9	57,4	57,6	57,6	SI	0,8	1,3%	1,0	29/06/2024	01:20:00	02:20:00
	56,5	56,0	56,6	57,7	59,0	57,3	57,6	SI	1,2	2,1%	1,6	23/06/2024	22:20:00	23:20:00
RA4. Vía Palestina	58,7	60,0	63,0	59,7	58,0	60,3	57,6	NO	1,9	3,2%	2,5	28/06/2024	21:20:00	22:20:00
	55,7	59,1	56,7	54,2	60,8	57,9	57,6	NO	2,7	4,6%	3,4	23/06/2024	21:10:00	22:10:00

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	104

Fuente: (MCS, 2024) Adaptado por CONSGA BIC S.A.S

Figura 3-78 Gráfica de ruido horario diurno - Sector D – Parágrafo 2 Artículo 17 Res 627 de 2006



Fuente: CONSGA BIC S.A.S, 2024

Realizando la comparación con la jornada diurna, se evidenció que los niveles de presión sonora en día hábil exhibieron una tendencia a disminuir en un rango de 0,7 dB (RA4. Vía Palestina) a 3,2 dB (RA2. Finca La Merced) y un ligero aumento en el punto RA3. Finca La Insula de 1,0 dB. En cuanto al día no hábil se registró un comportamiento similar con una disminución en un rango de 0,8 dB a 4,4 dB, en los puntos RA3. Finca La Insula y RA1. Finca La Insula, respectivamente.

Dicha variación, se asoció a las fuentes esporádicas de ruido identificadas durante el monitoreo, como la presencia de la fauna local de comportamiento diurno y nocturno, la cual se caracteriza por ser un ruido de tipo intermitente, puntal e impulsivo, ya que no se presenta de manera continua en la zona del proyecto (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	105

- Correcciones por Tonalidad e Impulsividad

Respecto a las correcciones por tonalidad e impulsividad observadas en la Tabla 3-45, para el horario diurno el 37,5% de las mediciones por dirección registraron componente tonal neto, el 40,0% de las mediciones hacen referencia al componente tonal fuerte y el 22,5% presentó componente tonal nulo. En relación con el componente impulsivo, el 40,0% de las direcciones registró componente impulsivo neto y el 57,5% presentó componente impulsivo fuerte y 2,55% para componente impulsivo nulo (MCS, 2024).

Tabla 3-45. Corrección de ruido horario diurno

Correcciones horario diurno															
Punto de Monitoreo	Tonalidad					Impulsividad					Corrección final				
	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V
RA1. Finca La Ínsula	3,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0
RA2. Finca La Merced	6,0	3,0	0,0	3,0	3,0	6,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	3,0	3,0	6,0
RA3. Finca La Ínsula	6,0	6,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0
RA4. Vía Palestina	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0	3,0	0,0	3,0	3,0	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0
RA1. Finca La Ínsula	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA2. Finca La Merced	6,0	3,0	3,0	0,0	3,0	6,0	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	6,0	3,0	6,0	3,0
RA3. Finca La Ínsula	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA4. Vía Palestina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0

Fuente: (MCS, 2024)

Para el horario nocturno (Tabla 3-46), el 37,5% de las mediciones por dirección presentó componente tonal neto, el 17,5% de las mediciones registraron componente tonal fuerte y el 45,0% restante presentó componente tonal nulo. En relación con el componente impulsivo, el 25,0% de las direcciones registró componente impulsivo neto y el 67,5% presentó componente tonal fuerte y 7,5 componente impulsivo nulo (MCS, 2024).

Tabla 3-46. Corrección de ruido horario nocturno

Correcciones horario nocturno															
Punto de Monitoreo	Tonalidad					Impulsividad					Corrección final				
	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V
RA1. Finca La Ínsula	0,0	3,0	0,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0
RA2. Finca La Merced	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA3. Finca La Ínsula	3,0	6,0	0,0	0,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA4. Vía Palestina	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Correcciones horario nocturno															
Punto de Monitoreo	Tonalidad					Impulsividad					Corrección final				
	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V
RA1. Finca La Ínsula	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA2. Finca La Merced	3,0	0,0	0,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA3. Finca La Ínsula	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
RA4. Vía Palestina	3,0	6,0	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	3,0	0,0	0,0	3,0	6,0	3,0	0,0	3,0

Fuente: (MCS, 2024)

- Incertidumbre e Intervalos de Confianza de la medición

Los resultados obtenidos tienen un grado de error inherente que depende entre otros de los siguientes factores (MCS, 2024):

- La precisión del instrumento utilizado: Se utilizó un sonómetro tipo I, para el cual está definido un error máximo de $\pm 1,0$ dB.
- La dispersión de los datos: Que se cuantifica mediante la desviación estándar, el coeficiente de variación y los límites de confianza inferior y superior. Estos valores han sido calculados y se presentaron en las tablas para el horario diurno y nocturno.
- La propagación del error en los cálculos: Cuando se realizan operaciones con datos que tiene un error, el resultado presenta también un error distinto que se puede calcular. Sin embargo, en estos casos su magnitud es por lo general menor que los 2 errores considerados anteriormente y no se justifica su determinación.

Tabla 3-47. Incertidumbre típica dB

INCERTIDUMBRE TÍPICA DB					
Instrumentación	Condiciones de Funcionamiento	Condiciones Meteorológicas y del terreno	Sonido Residual	Incertidumbre típica combinada dB	Incertidumbre de medición expandida dB
1,0	0	0,5	0	1,12	2,24

Fuente: (MCS, 2024)

Debido a que la medición tiene implícito un error relacionado con la variación de los niveles de ruido de un ciclo a otro a causa de fluctuaciones de variables no controladas y al error propio del instrumento de medición, los niveles de ruido obtenidos deben interpretarse más como un intervalo dentro del cual puede estar el nivel real, que como un resultado puntual indiscutible. A dicho intervalo se le conoce como intervalo de confianza. Para el monitoreo de ruido ambiental se presentó un intervalo de confianza oscilo entre 0,4 y 3,7 en horario diurno y de 1,0 a 3,4 en horario nocturno (MCS, 2024).

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto	Cap. 3.2.9. Atmósfera	
			PO-CO-2024-008	Ver: 01	107

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta la variabilidad de las fuentes, la cual está determinada por la amplitud de los intervalos de confianza que se presentan en las tablas de resultados. En el punto de ruido ambiental se evidenció un coeficiente de variación entre 0,6 y 5,2% en horario diurno y de 1,3% a 4,6% en jornada nocturna, lo cual indica una variación moderada de los niveles de presión sonora registrados, asociados posiblemente a la influencia de las fuentes esporádicas de ruido, como la fauna local, los cuales se caracterizan por generar un ruido de tipo intermitente, puntual e impulsivo, ya que no se presenta de manera continua en el área de estudio (MCS, 2024) .

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	108
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pareira, L. S., Raes, D., & Martin, S. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- CENICAFÉ. (09 de 26 de 2024). *Registros Históricos*.
<https://agroclima.cenicafe.org/web/guest/registros-historicos>
- IDEAM. (2006). Atlas de viento y energía eólica de Colombia. En C. F. Carlos Costa, *Anexos* (pág. 105). Bogotá: UPME e IDEAM.
- IDEAM. (2006). La atmósfera, el tiempo y el clima. En J. Z. José Danuiel Paboón, *El medio ambiente en Colombia* (pág. 35). Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2017). *Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (ETo) para Colombia*.
- IDEAM. (2022). *Estudio Nacional del Agua (ENA)*. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (25 de 04 de 2024). *Tiempo y Clima*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IGAC. (2014). *Instructivo Zonificación Climática*. Bogotá: IGAC.
- Instituto Nacional de Ecología. (2013). *Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire*. Mexico.
- Llorca Llorca, R., & Bautista Carrascosa, I. (2004). *Prácticas de atmósfera, suelo y agua*. Alfaomega.
- MADS. (01 de Noviembre de 2017). Resolución 2254. (M. d. Sostenible, Ed.) Colombia.
- MCS. (2024). *MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE MODIFICACIÓN DE LICENCIA DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS PALESTINA (ECG)*. Bogotá, D.C: MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S.
- MCS. (2024). *MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS PALESTINA (ECG) MODIFICACIÓN DE LICENCIA*. Bogotá D.C: MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S.
- Montgomery, D. (2014). *Estadística y probabilidad para ingenieros* (Sexta ed.). Wiley.

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	109
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----

NASA. (2024). *MYD11A1 Layer - Clear Sky Coverage*. AppEEARS - Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples: <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/>

NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2024). *AppEEARS*. Retrieved 24 de 9 de 2024, from <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/>

NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2024). *NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources*. Retrieved 28 de 08 de 2024, from <https://power.larc.nasa.gov/>

Elaboró: CONSGA BIC S.A.S	Revisó: TGI S.A. ESP	Aprobó: TGI S.A. ESP	Código Proyecto PO-CO-2024-008	Cap. 3.2.9. Atmósfera Ver: 01	110
---------------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----