

Climatología Aeronáutica 2005-2024

Aeropuerto Internacional Daniel Oduber

Mariana Montes Quirós¹, Diego Garro Molina², Paula Campos Zúñiga³

Resumen

Este estudio analiza el comportamiento de variables meteorológicas que influyen en las operaciones aeronáuticas en el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós (AIDOQ). El periodo utilizado para esta investigación es el que comprendido entre los años 2005 y 2024. Se examinaron la magnitud y dirección del viento en superficie, la temperatura del aire, la temperatura del punto de rocío, la presión atmosférica y distintos tipos de precipitación (lluvia, llovizna, chubascos y tormentas). Además, se evaluaron las condiciones de visibilidad, así como la ocurrencia de niebla y neblina. Los datos fueron obtenidos de estaciones meteorológicas automáticas y de informes meteorológicos de aeródromo (METAR). El AIDOQ se ubica en la región del Pacífico Norte de Costa Rica, caracterizada por poseer una estación seca (diciembre-marzo) y una lluviosa (mayo-octubre) bien definidas. Los hallazgos de este estudio contribuyen para tener una mejor comprensión de la climatología de este aeropuerto, proporcionando información valiosa para optimizar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia operativa.

PALABRAS CLAVES: Climatología Aeronáutica, AIDOQ, MRLB, METAR.

Abstract

This study analyzes the behavior of meteorological variables that influence aeronautical operations at Daniel Oduber Quirós International Airport (AIDOQ). The period used for this research is between 2005 and 2024. Surface wind magnitude and direction, air temperature, dew point temperature, atmospheric pressure, and different types of precipitation (rain, drizzle, showers, and thunderstorms) were examined. Visibility conditions, as well as the occurrence of fog and mist, were also evaluated. The data were obtained from automatic meteorological stations and aerodrome meteorological reports (METARs). AIDOQ is in the North Pacific region of Costa Rica, characterized by a well-defined dry season (December–March) and rainy season (May–October). The findings of this study contribute to a better understanding of this airport's climatology, providing valuable information for optimizing decision-making and improving operational efficiency.

KEY WORDS: Aeronautical Climatology, AIDOQ, MRLB, METAR.

¹ Autora Principal. Bach. en Meteorología. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica. Email: mmontes@imn.ac.cr

² Colaborador. Bach. en Meteorología. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica. Email: dgarro@imn.ac.cr

³ Colaboradora. Lic. en Meteorología. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica. Email: pcampos@imn.ac.cr

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones meteorológicas, tanto en ruta como en tierra, son un factor determinante en la planificación operativa y la eficiencia aeroportuaria, ya que pueden afectar significativamente la regularidad de las operaciones aéreas (Rodríguez-Sanz et al., 2022; Frades e Izquierdo, 2018). En Europa, un estudio reciente evidenció que los fenómenos climáticos adversos, como baja visibilidad, precipitaciones intensas y vientos fuertes, tienen un impacto directo en los retrasos y cancelaciones de vuelos, especialmente en aeropuertos que operan cerca de su capacidad máxima (Schultz et al., 2018). De manera similar, en los Estados Unidos, la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés) informó que, entre 2017 y 2023, más del 74% de los retrasos aéreos estuvieron relacionados con condiciones meteorológicas adversas (Federal Aviation Administration, s.f.).

En respuesta a estos desafíos, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) establecen directrices y normativas para que los Servicios Meteorológicos Nacionales proporcionen información meteorológica precisa y oportuna que contribuya a la seguridad, eficiencia y regularidad de la navegación aérea internacional (Reinhardt, 1989).

En este contexto, el Anexo 3 de la OACI (2018) y el Reglamento de Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (RAC03) (2020) especifican que cada Estado Contratante debe recopilar y difundir información climatológica aeronáutica basada en registros de al menos cinco años, incluyendo los valores medios de los elementos meteorológicos más relevantes para la aviación en diversas escalas temporales. Cabe destacar que la OMM define la climatología como *“el estudio del clima, sus variaciones y extremos, y su influencia en diversas actividades, especialmente en la salud, la seguridad y el bienestar humanos”* (OMM, 2011).

En función de lo anterior, el presente documento presenta un análisis de la climatología aeronáutica del Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós (AIDOQ), identificado como MRLB según los códigos de la OACI y como LIR conforme a los códigos de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA). Este aeropuerto está situado en la provincia de Guanacaste, Costa Rica (figura 1), con coordenadas geográficas 10°35'36.22596" N, 85°32'40.13232" O y una elevación de 30 m.s.n.m. Además, pertenece a la región climática Pacífico Norte de Costa Rica (IMN, 2008), aunque presenta algunas particularidades que serán detalladas a lo largo de este trabajo.

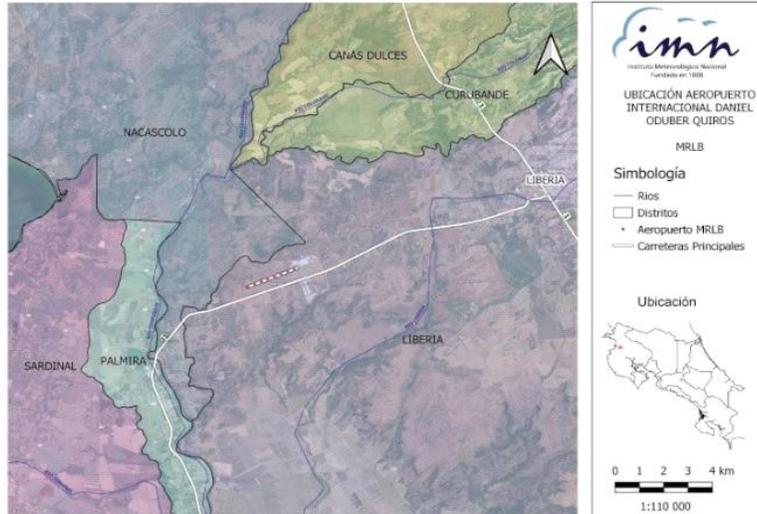


Figura 1. Ubicación del aeropuerto MRLB. Elaborado por José Navarro, IMN, 2021.

1.1 Clima de la Región Pacífico Norte

El AIDOQ se ubica dentro de la región climática de la Vertiente del Pacífico de Costa Rica, específicamente en el Pacífico Norte. El clima de esta zona está fuertemente influenciado por diversos sistemas sinópticos, entre ellos la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y su desplazamiento estacional, los ciclones tropicales, las ondas tropicales y el comportamiento de los vientos alisios (IMN, 2008). Además, en áreas cercanas a la costa, la brisa marina juega un papel determinante. Este fenómeno, impulsado por el gradiente térmico entre el océano y el continente, genera una circulación mar-tierra durante el día, cuando la temperatura terrestre es mayor, y una inversión de este patrón durante la noche (Mora-Sandí, 2020).

Esta región es la más árida de Costa Rica, con una gran parte de su territorio dentro del Corredor Seco Centroamericano (Calvo-Solano et al., 2018). Posee un régimen climático con dos estaciones bien definidas: (i) la estación seca, que abarca de diciembre a marzo, y (ii) la estación lluviosa, extendida de mayo a octubre. Los meses de abril y noviembre se consideran de transición (Solano y Villalobos, 2000).

Durante la estación seca, la ZCIT se desplaza hacia el sur, reduciendo su influencia en la región (Quirós-Badilla y Hidalgo-León, 2016; González-Hernández, 2023), lo que se traduce en una disminución de las precipitaciones. Además, entre diciembre y febrero (invierno boreal), la llegada de empujes fríos ocasiona la entrada de masas de aire seco y estable (Chinchilla et al., 2016; Chinchilla et al., 2017), lo que reduce aún más la humedad atmosférica y limita las lluvias, especialmente en zonas a sotavento de la Cordillera Volcánica de Costa Rica. Cabe señalar que estos empujes fríos tienen un impacto más significativo sobre las precipitaciones del Caribe que en el Pacífico.

La estación lluviosa inicia en mayo, aunque su comienzo es más tardío y su finalización más temprana en el Pacífico Norte respecto a otras regiones del país (Alfaro, 2002). Este inicio está condicionado por el desplazamiento progresivo de la ZCIT hacia el norte, su proximidad a la región y la configuración térmica de los océanos circundantes. Se ha identificado que un aumento

de la temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte, en relación con el Pacífico, puede ser un factor clave en el inicio de la temporada de lluvias en esta zona (Ugalde et al., 2024).

El régimen de lluvias presenta un patrón bimodal, con un primer máximo en junio, una disminución relativa en julio y agosto, seguida de un segundo máximo, más alto que el anterior, en septiembre y octubre (IMN, 2008). La reducción de precipitaciones en julio y agosto responde, en parte, al fortalecimiento de los vientos alisios, impulsados por la expansión del sistema de alta presión del Atlántico Norte durante el verano y la intensificación del Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés) (Amador, 2008; Amador et al., 2018). Esta interacción desplaza la ZCIT hacia el sur, reduciendo el contenido de humedad en la región del Pacífico costarricense (Magaña et al., 1999; Small, 2007; Alfaro, 2014).

El segundo máximo de precipitación es el resultado de varios factores interrelacionados, incluyendo la disminución en la intensidad de los vientos alisios, el incremento de la temperatura superficial del mar en la piscina cálida del Mar Caribe, la incursión de vientos del suroeste o vientos ecuatoriales y un aumento en la formación de tormentas y ciclones tropicales en el Atlántico y el Mar Caribe durante el otoño boreal (Alfaro y Quesada, 2010).

Según Poleo-Brito (2014), la precipitación acumulada en el Pacífico Norte varía en función de la fase de la Oscilación Madden-Julian (MJO, por sus siglas en inglés). Su impacto depende de la amplitud y fase del fenómeno: cuando la amplitud es superior a 1, los acumulados de lluvia tienden a ser mayores. Asimismo, si la MJO se encuentra en fase 1 o 2, la actividad lluviosa puede intensificarse en la región.

Otro factor clave en la variabilidad climática es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En su fase positiva o cálida (El Niño), se observa una reducción de las precipitaciones en el Pacífico Norte (Calvo-Solano et al., 2018), lo que, dependiendo de la duración e intensidad del evento, puede derivar en condiciones de sequía. En contraste, durante la fase negativa o fría (La Niña), existe una mayor probabilidad de lluvias por encima de lo normal (IMN, 2008).

2. METEOROLOGÍA

De acuerdo con las disposiciones establecidas en el Anexo 3 y el RAC 03, la información climatológica aeronáutica debe basarse en observaciones realizadas durante un periodo mínimo de 5 años (OACI, 2018). Por esta razón y para cumplir con lo indicado, en el presente trabajo se analizó un periodo de datos disponibles de 20 años (2005-2024). Estos datos provienen de una estación meteorológica automática ubicada en el AIDOQ y de observaciones meteorológicas en superficie realizadas por el personal que labora en la Oficina Meteorológica Aeronáutica (OMA). Además, cabe destacar que fueron extraídos de los informes meteorológicos de aeródromo (METAR) (OACI, 2018), los cuales se emiten cada hora, durante los 365 días del año, en el intervalo de 12 UTC a 06 UTC.

Las variables analizadas son:

- Viento en superficie: magnitud (kt) y dirección (°).
- Temperatura del aire (°C),

- Temperatura de rocío (°C)
- Presión atmosférica QNH (inHg).
- Visibilidad horizontal (m) y vertical (m).
- Precipitación acumulada (mm).

Para garantizar la calidad de la información, se implementó un proceso de verificación con el objetivo de identificar y corregir posibles anomalías o datos no representativos. Este procedimiento consistió en comparar los posibles datos anómalos detectados con los resúmenes meteorológicos mensuales elaborados por el Departamento de Meteorología Sinóptica del IMN (Garro-Molina, 2024).

Una vez finalizada la verificación, se calcularon los valores promedios mensuales, diarios y en algunos casos horarios para la generación de gráficos de las tendencias y el comportamiento climatológico de las variables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra las variables meteorológicas de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación a lo largo del periodo 2005 al 2024, se observan temperaturas máximas medias que van de 33.3°C hasta 37.8°C, y mínimas de 16.9°C hasta 20.9 °C. Se puede notar que febrero es el mes con el máximo extremo de temperatura mayor en comparación con el resto del año con un valor de 39.7°C, y también refleja la temperatura extrema más baja con un valor de 15.1°C. El mes con mayor precipitación es el mes de octubre con un acumulado mensual promedio de 33.8mm y el mes con menos precipitación registrada es febrero con 0.5mm.

En la figura 2 se presentan temperaturas máximas en los primeros meses, con un máximo en abril, lo que concuerda con cielos despejados y mayor exposición solar en dicha zona. En el periodo de enero a abril se presentan las temperaturas mínimas más bajas en comparación con el resto del año. Los meses de mayo a octubre las temperaturas mínimas son las más altas del año, esto coincide con la época lluviosa, por lo que hay mayor presencia de nubosidad durante las noches y con esto hay una menor pérdida de radiación de onda larga hacia el espacio durante este periodo.

Se puede notar muy bien el patrón de la época seca y lluviosa en la región, ya que los meses de mayo a octubre son los que presentan un aumento en la precipitación y los meses de diciembre a marzo un déficit en dicha variable. Abril y noviembre muestran una disminución significativa de precipitación comparada con los meses más lluviosos, en donde se reflejan los meses de transición; julio también muestra una disminución en las lluvias asociado al periodo canicular (Alfaro, 2014). El mes de octubre presenta la mayor cantidad de precipitación, seguido de setiembre, mientras enero y febrero presentan acumulados menores a 1mm.

Tabla 1. Resumen de variables meteorológicas, MRLB 2005-2024.

Mes	Temperatura máxima extrema (°C)	Temperatura mínima extrema (°C)	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura mínima media (°C)	Precipitación total media (mm)	Media de días con precipitación
Enero	36.9	15.5	35.2	17	0.9	1
Febrero	39.7	15.1	36.5	16.9	0.5	1
Marzo	38.2	15.9	37.2	17.7	5.1	1
Abril	39.5	16.9	37.8	18.9	49.6	4
Mayo	38.6	17.5	37	20.4	197	14
Junio	36	19.5	34.4	21.3	233.2	19
Julio	36.4	19	34.7	20.6	124.5	13
Agosto	37.1	17.9	35.2	20.4	204.1	18
Setiembre	36.2	19.9	34.4	20.8	240.9	23
Octubre	34.4	19.7	33.6	20.9	333.8	23
Noviembre	34.7	16.9	33.3	19	164.6	13
Diciembre	36.5	15.8	34.4	17.9	12.7	3
Anual	39.7	15.1	35.3	19.3	1566.9	133

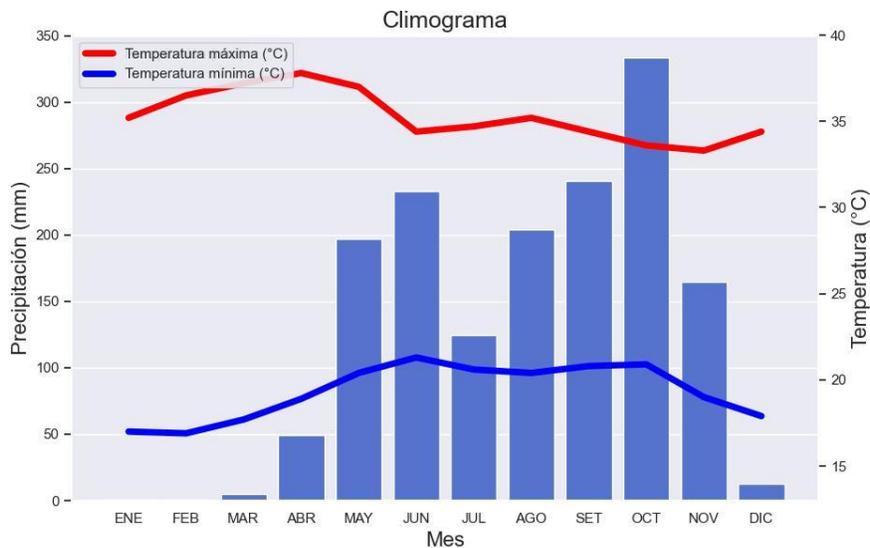


Figura 2. Climograma del aeropuerto, MRLB, 2005-2024

3.1 Viento

3.1.1 Dirección del viento

En la figura 3 se muestra el mapa de calor mensual de la dirección del viento en el AIDOQ, donde se puede ver que de diciembre a marzo predomina el viento con componente este y a partir de abril se puede observar un predominio de vientos del sureste-sur hasta noviembre. Durante mayo

y junio, en el periodo de las 13:00 a las 17:00 horas, prevalecen vientos con componente sur. En julio predominan nuevamente los vientos del sureste y entre agosto y noviembre, en este mismo periodo del día, se observa el ingreso del viento del sur y suroeste, destacando setiembre y octubre, con ingresos del suroeste. Esto coincide con los meses más lluviosos del año (Solano y Villalobos, 2000).

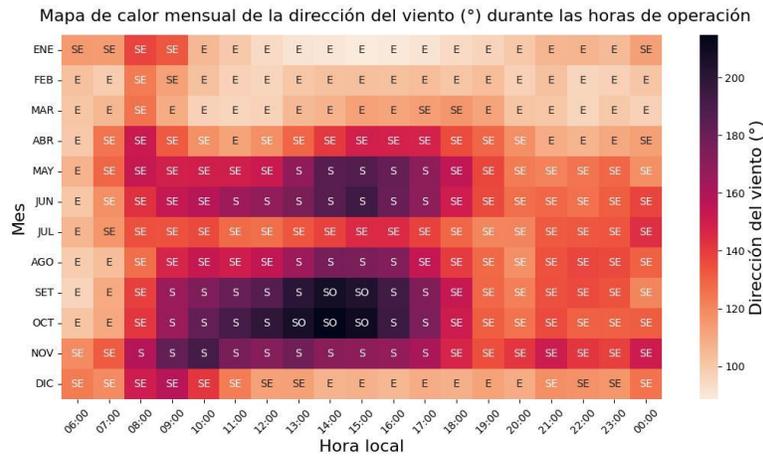


Figura 3. Mapa de calor mensual durante las horas de operación del aeropuerto (eje horizontal) para la dirección del viento en el AIDOQ durante el periodo 2005-2024.

En la figura 4 se exhibe la distribución media de la dirección del viento horario durante los meses del año en el aeropuerto, en la cual se ven valores con dirección sureste y este durante los meses que van de diciembre hasta marzo mostrados en color morado y azul. En los meses de mayo a noviembre entre las 10:00 y las 17:00 se presentan vientos de dirección sur y suroeste, con un aumento significativo en la ocurrencia durante los meses setiembre y octubre. En julio se observan vientos del este y sureste, coincidiendo con la época de la canícula o veranillo.

3.1.2 Velocidad del viento

En la figura 5 se muestra la variación mensual de la velocidad del AIDOQ. En esta se observa un máximo de velocidad de aproximadamente 14kt durante el mes de febrero, esto coincide con los meses en los que hay un aumento en la intensidad de los vientos alisios, producto de empujes fríos provenientes del norte y las altas presiones asociadas (Chinchilla et al., 2016). Por otro lado, los mínimos de velocidad se alcanzan en los meses de setiembre y octubre, con valores por debajo de los 6kt, lo cual se debe a la disminución en la intensidad de los vientos alisios, que a la vez favorecen el ingreso de vientos sinópticos del oeste o ecuatoriales a la región (Muñoz et al., 2002).

En la distribución de la velocidad del viento mostrada en la figura 6, se observa que la esta suele alcanzar valores máximos durante las tardes y mínimos en la madrugada y el inicio de las mañanas. Además, a lo largo del año, es evidente el cambio de la intensidad del viento de una estación a otra. Durante los meses de la época lluviosa, los valores máximos en las tardes apenas sobrepasan los 8kt, mientras que, en la época seca, el viento alisio se acelera y con esto la

intensidad del viento en el AIDOQ alcanza cifras promedio que se encuentran entre los 16 y los 20kt.

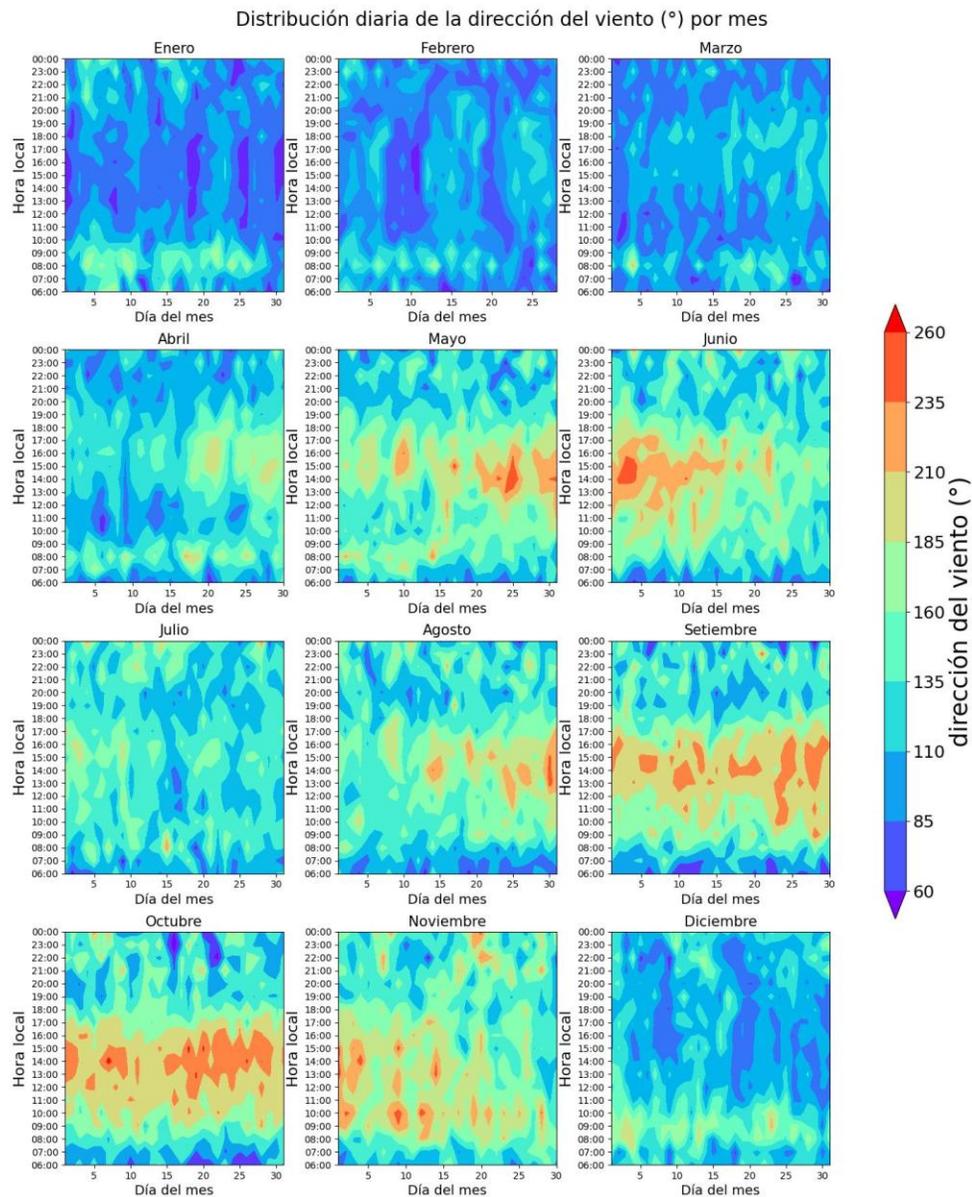


Figura 4. Distribución media diaria de la dirección del viento horario en AIDOQ durante el periodo 2005-2024.



Figura 5. Variación mensual de la velocidad del viento para el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.1.3 Ráfaga de viento

En el área de la aeronáutica, una ráfaga de viento se identifica cuando la velocidad máxima del viento sobrepasa en 10kt a la velocidad media del viento en superficie, durante un periodo promedio de 10 min (OACI, 2018). En la figura 7 se puede ver que en los primeros meses del año (enero, febrero y marzo) las ráfagas alcanzan valores cercanos a 31kt. Luego, ocurre una disminución en la intensidad entre abril y noviembre, con excepción de junio donde ocurre un ligero aumento, con valores mayores a 29 kt.

El número de ocurrencias de las ráfagas reportadas en el aeropuerto mostrado en la figura 8 son mayores en los meses de enero, febrero y marzo, donde la mayoría de los eventos que se dan corresponden a ráfagas con valores entre 20 y 29 kt, seguido de ráfagas entre 30 y 39 kt y finalmente en un mínimo de casos con valores de 40 kt o más. Los meses con menos ráfagas reportadas son setiembre y octubre.

Distribución diaria de la velocidad del viento (kt) por mes

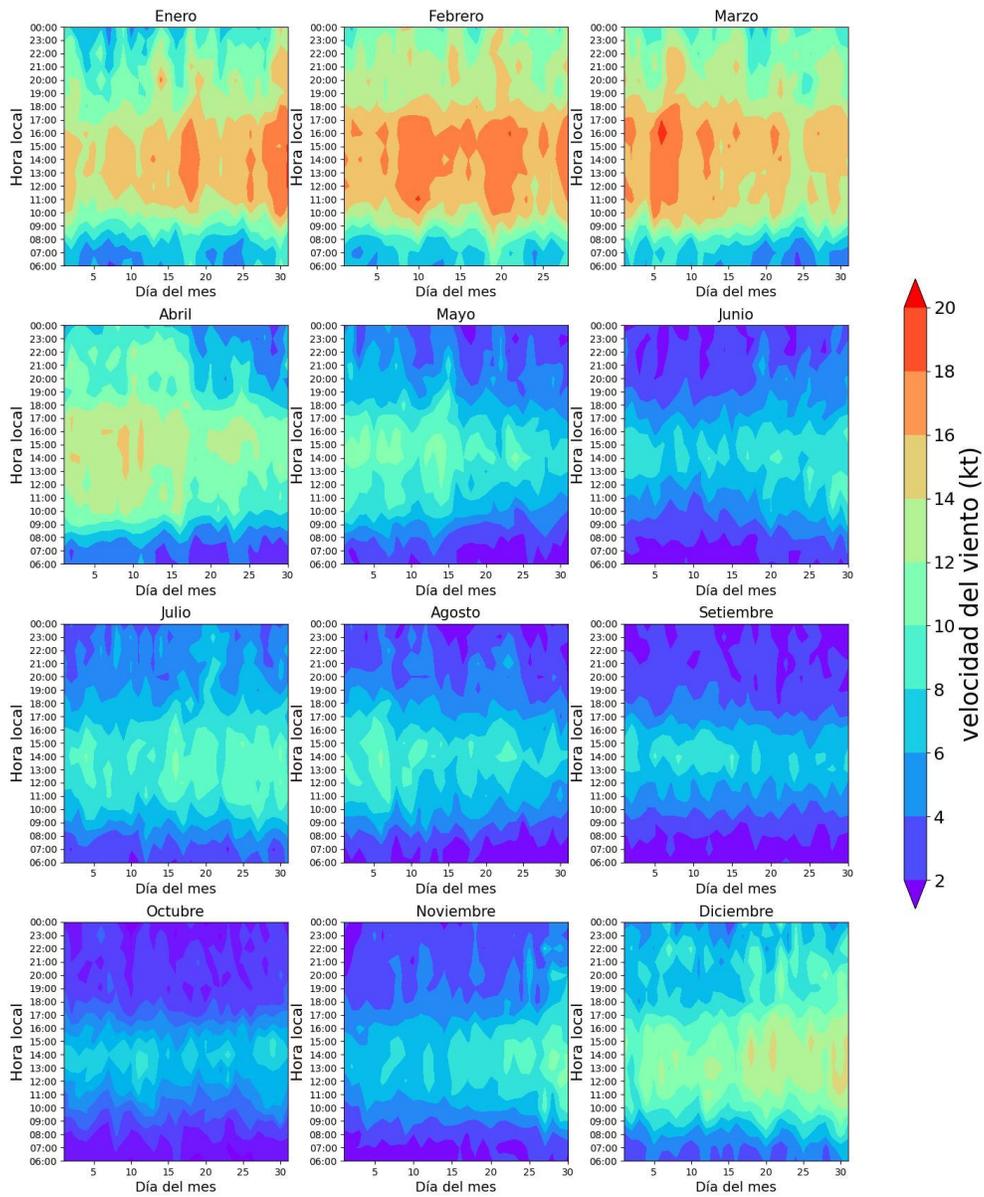


Figura 6. Distribución media diaria de la velocidad del viento horario en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

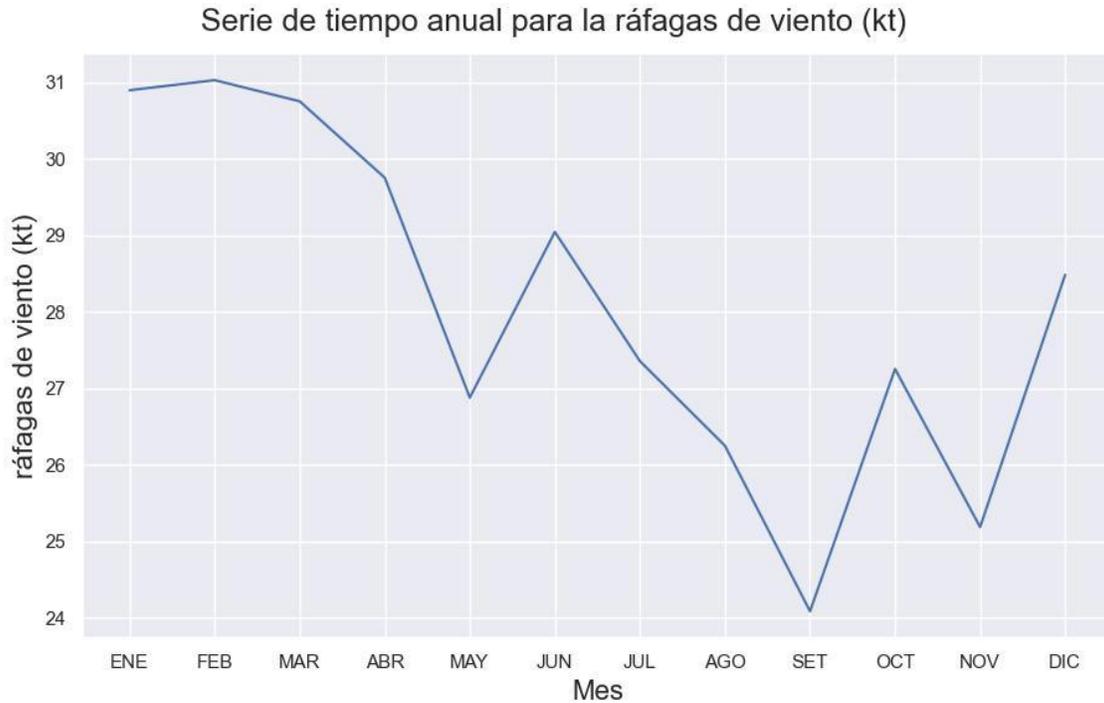


Figura 7. Variación mensual de la velocidad máxima del viento para el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

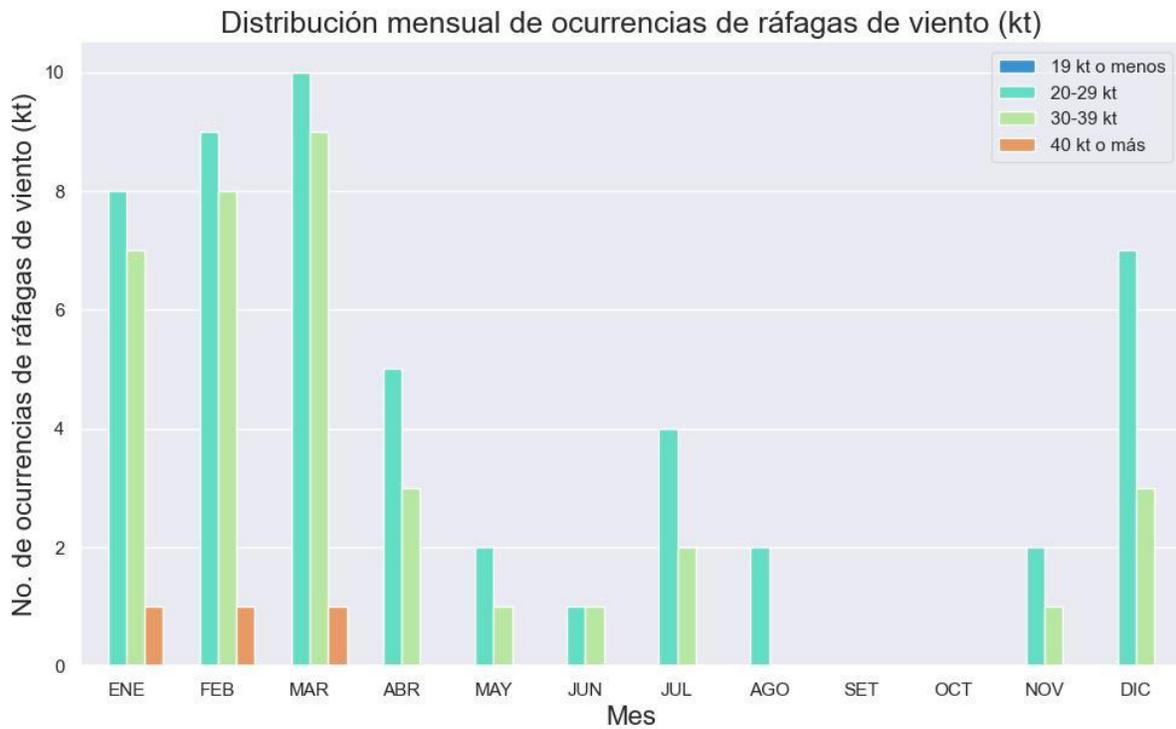


Figura 8. Distribución mensual de ocurrencias de ráfagas de viento por mes en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.2 Temperatura

Según lo que se muestra en la figura 9, las temperaturas más elevadas se dan en los meses entre enero a mayo, mientras que las mínimas de junio a diciembre. El máximo de temperatura anual ocurre en el mes de abril, con valores que alcanzan los 30.5°C; y el mínimo en el mes de octubre con un valor de 26.5°C.

En cuanto a la variación horaria (figura 10), es posible notar que las temperaturas máximas se alcanzan entre las 13:00 y 14:00 durante todo el año y las mínimas se dan en las madrugadas e inicios de las mañanas. Sumado a esto, en esta figura también se observa con claridad la diferencia entre los meses de la época seca, donde el rango diurno de temperatura es mayor, en comparación con los meses de la época lluviosa. Entre estos destacan marzo a abril, con valores entre los 22°C y los 36°C.



Figura 9. Variación mensual de la temperatura absoluta media en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

Distribución diaria de la temperatura (°C) por mes

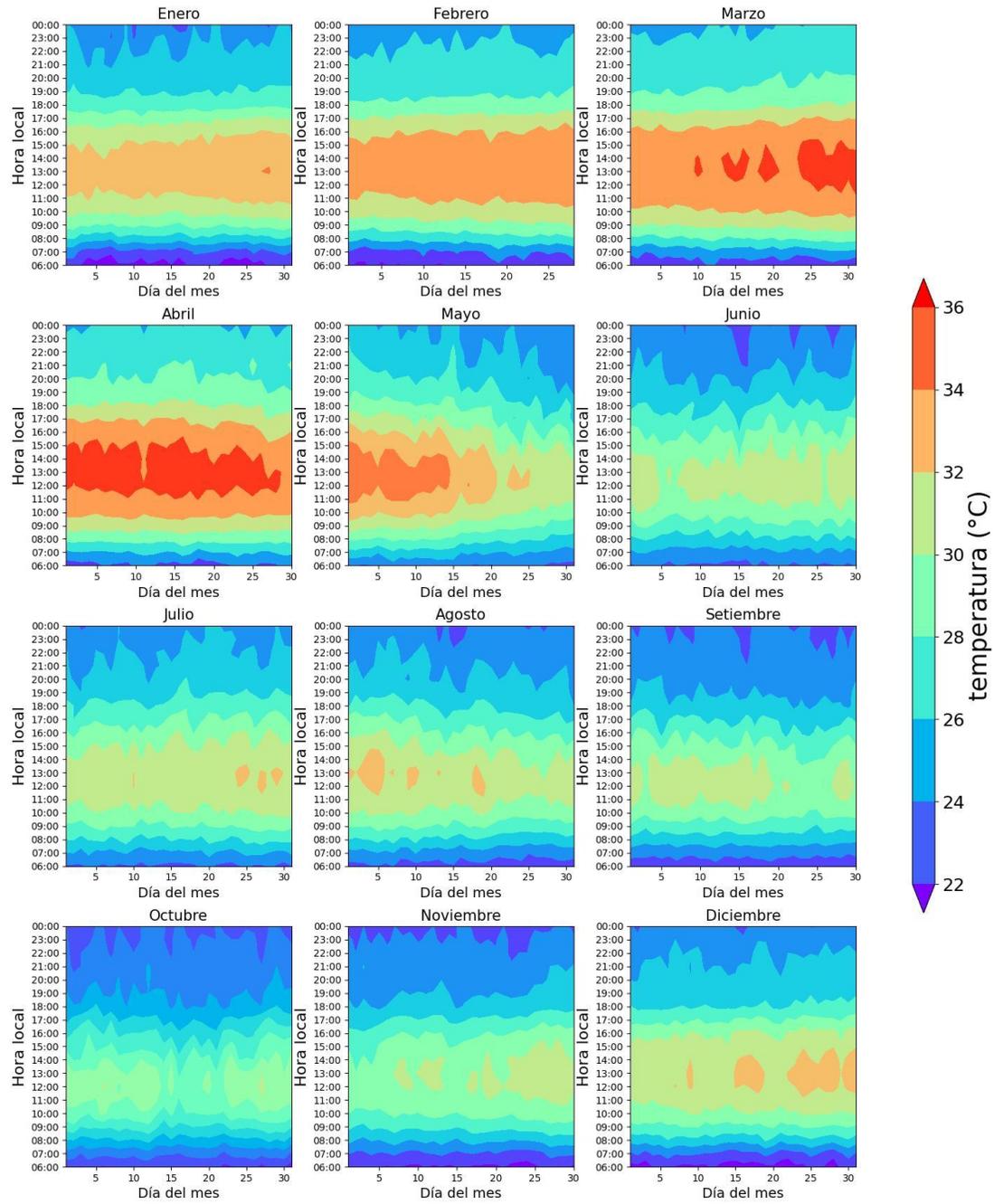


Figura 10. Distribución media diaria de la temperatura absoluta horaria en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.3 Temperatura de punto de rocío

En la figura 11 se muestra como varía la temperatura de punto de rocío durante los meses del año. Los valores mínimos de esta variable se dan entre febrero y marzo, meses que corresponden a la época seca, en la cual las temperaturas son altas por lo que el punto de rocío tiene un mayor gradiente de temperatura para poder llegar a la saturación (OMM, 1992). Los máximos ocurren en los meses de junio a octubre, en la época lluviosa, donde el gradiente de temperatura es menor para alcanzar la saturación del aire.

Al analizar la distribución de la temperatura de punto de rocío en la figura 12, se puede observar una marcada diferencia entre las dos estaciones del año. De diciembre hasta finales de abril, los valores van de los 16°C a los 21°C, siendo máximos entre las mañanas y las noches y mínimos en las tardes. En contraste, durante el periodo que va de mayo hasta finales de noviembre, los valores de esta variable aumentan considerablemente, alcanzando los 24°C y siendo constante durante todo el periodo diario.



Figura 11. Variación mensual de la temperatura del punto de rocío media en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

Distribución diaria de la temperatura del punto rocío (°C) por mes

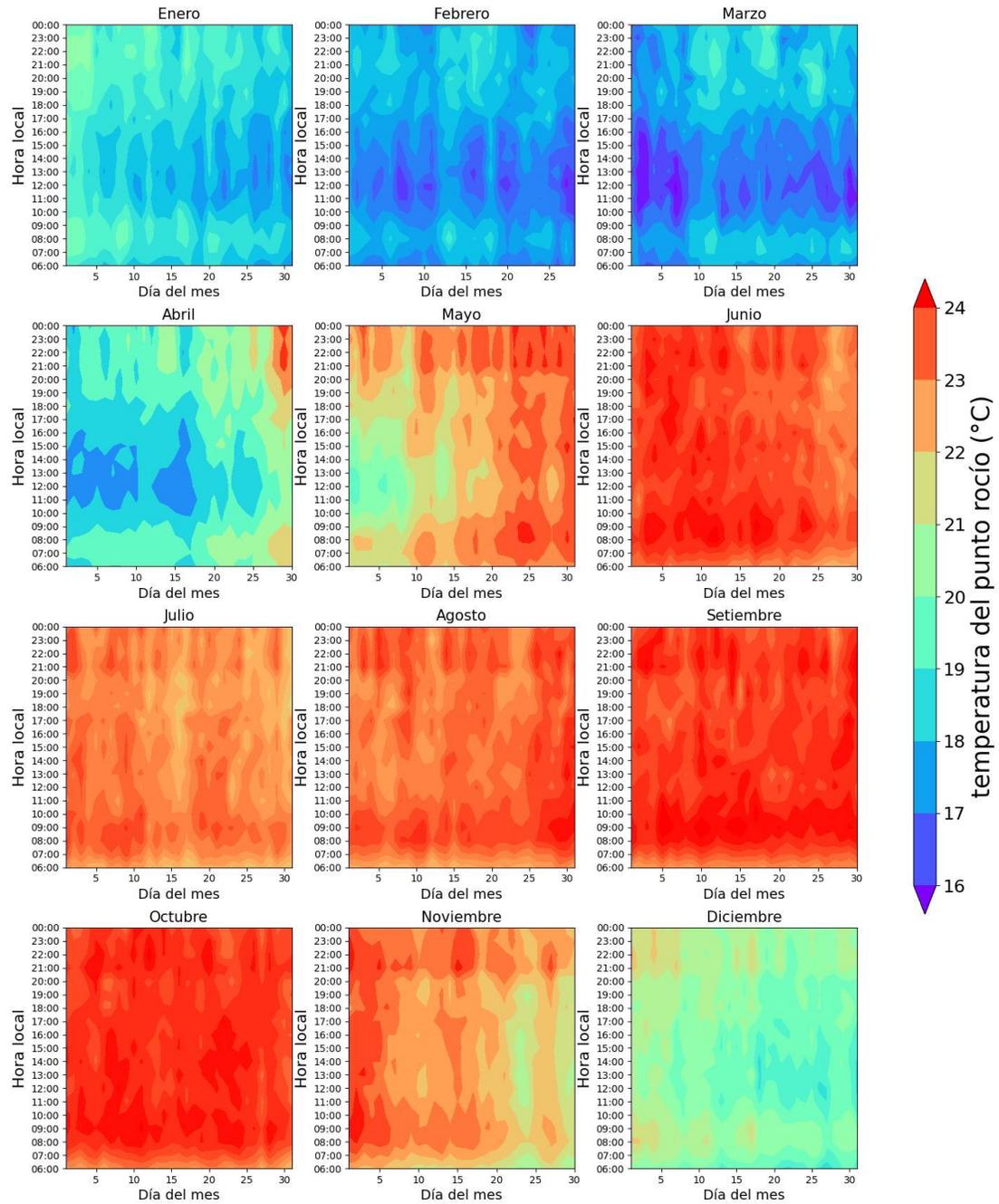


Figura 12. Distribución media diaria de la temperatura del punto de rocío horaria en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.4 Presión

La presión de la atmosfera corresponde a la fuerza ejercida por el peso de la atmosfera sobre una superficie, es decir, es igual al peso de la columna vertical de aire sobre un punto dado (Torregrosa, 2012). En aeronáutica la presión suele expresarse en términos de QNH.

Existen diferentes unidades de la presión y su uso puede variar según el país o región. En la ecuación 2 se muestra el factor de conversión entre las unidades más comunes:

$$1 \text{ atm} = 1013,2 \text{ hPa} = 29,92 \text{ inHg} \quad (1)$$

En la figura 13, el comportamiento de la presión varía a lo largo del año, con valores máximos durante enero y el periodo abarcado de junio a octubre y mínimos entre febrero y mayo y de noviembre a diciembre.



Figura 13. Variación mensual de la presión atmosférica (QNH) media en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

La distribución mostrada en la figura 14, exhibe un patrón de bajas presiones en la tarde (1pm a las 6pm) y presiones altas divididas en dos periodos, durante horas del día (6am a 11am) y de la noche (6pm a 12mn). Con respecto a la variación anual, se puede ver que las presiones se comportan similar como se mencionó anteriormente, con valores más altos de enero a mayo y más bajos de junio a diciembre. Así mismo, se observa un comportamiento bimodal en la figura 15, con dos máximos relativos, el primero en horas de la mañana y el segundo en la noche, mientras que ocurre un mínimo alrededor de las 2pm a 4pm. Los valores oscilan entre 29.74 y 29.90inHg.

Distribución diaria de la presión atmosférica (inHg) por mes

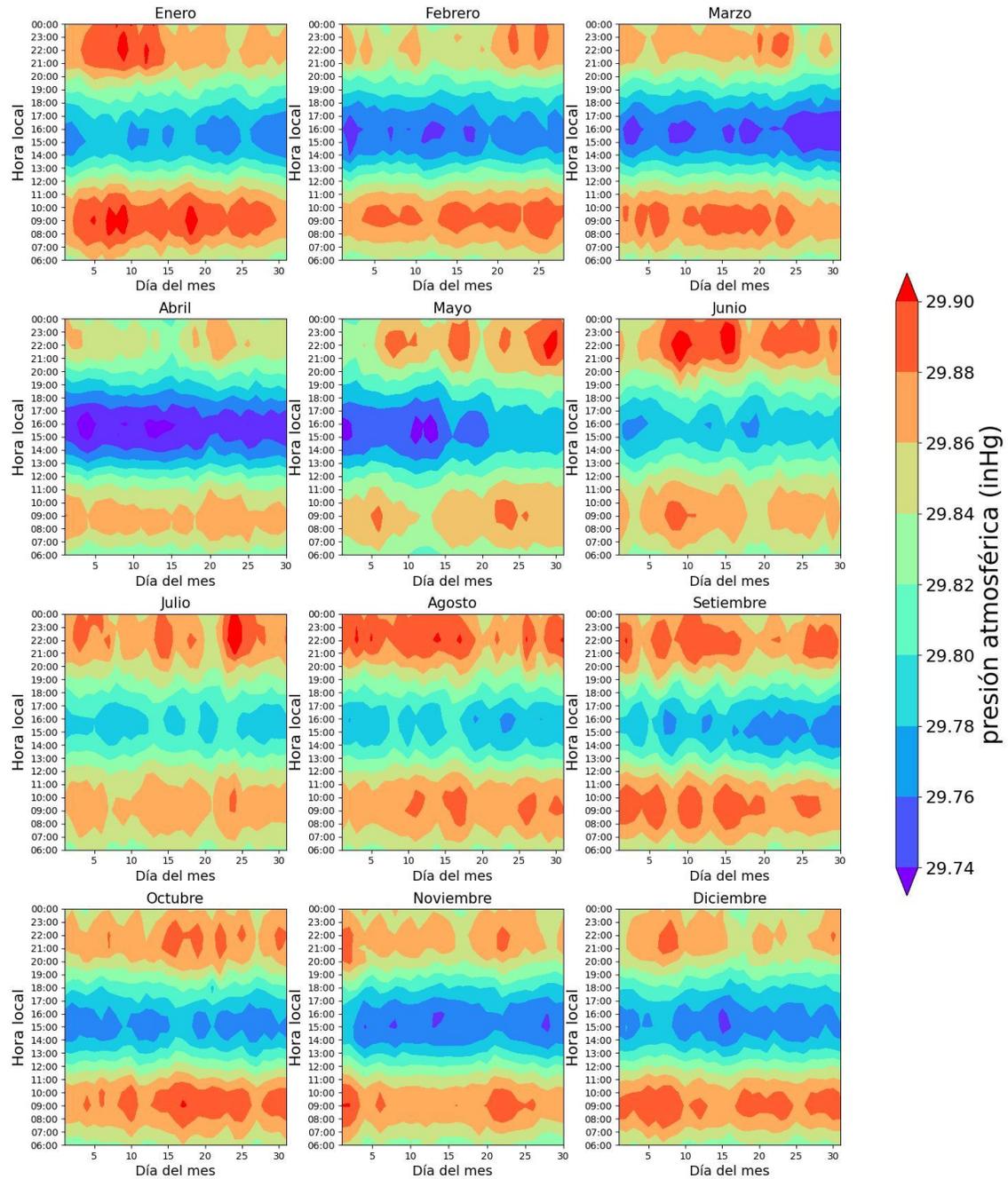


Figura 14. Distribución media diaria de la presión (QNH) horaria en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

Series de tiempo diarias para la presión atmosférica (inHg) por mes

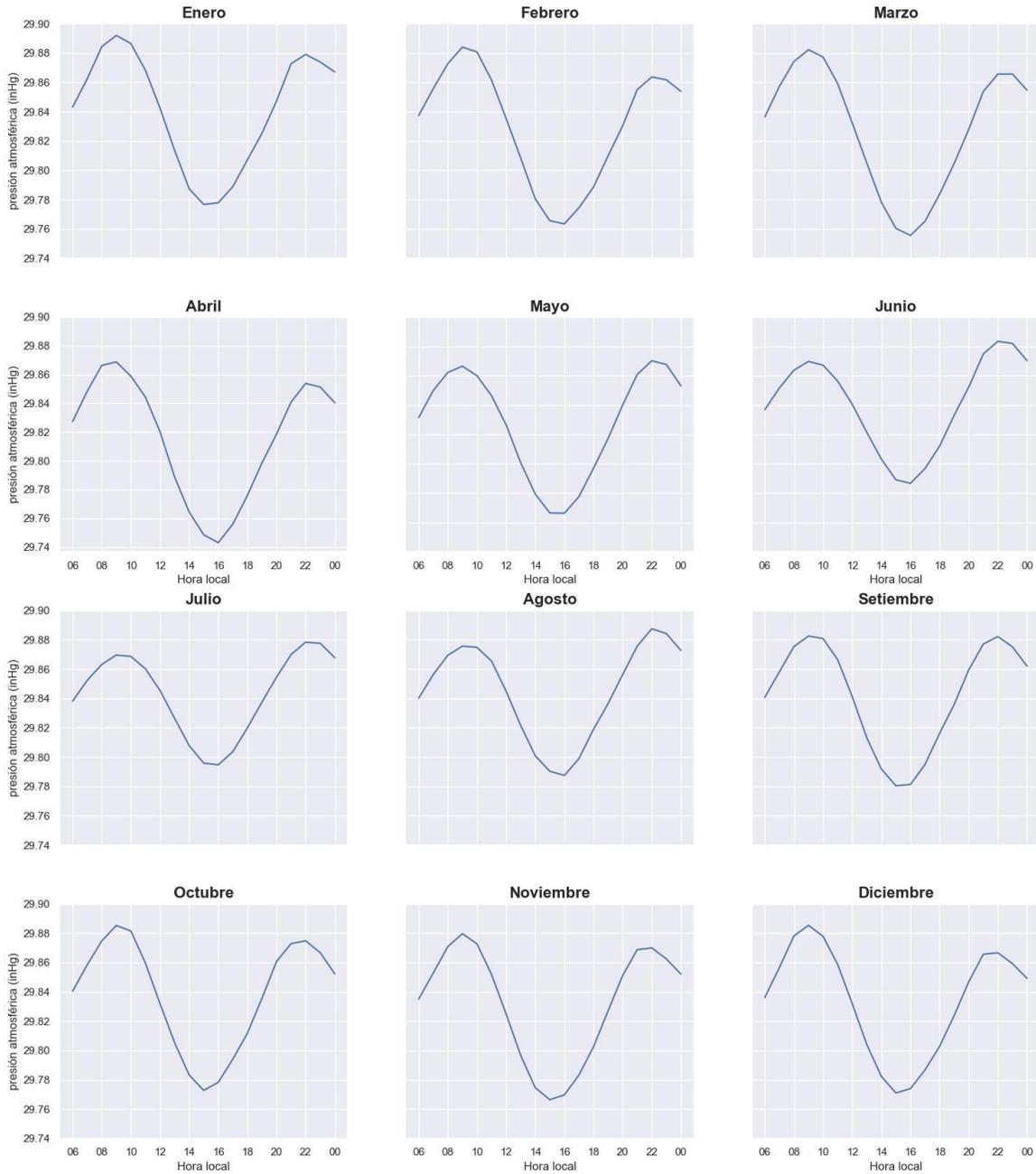


Figura 15. Variación horaria de la presión (QNH) media por mes para MRLB, 2005-2024.

3.5 Hidrometeoros

En la figura 16 se presenta la distribución climatológica mensual de los distintos tipos de precipitación en el AIDOQ. Estos eventos ocurren predominantemente entre abril y diciembre, mientras que entre enero y marzo su frecuencia es considerablemente menor. Destaca el hecho

de que la lluvia es el tipo de precipitación más frecuente, seguida de la llovizna, la tormenta y los aguaceros, en ese orden.

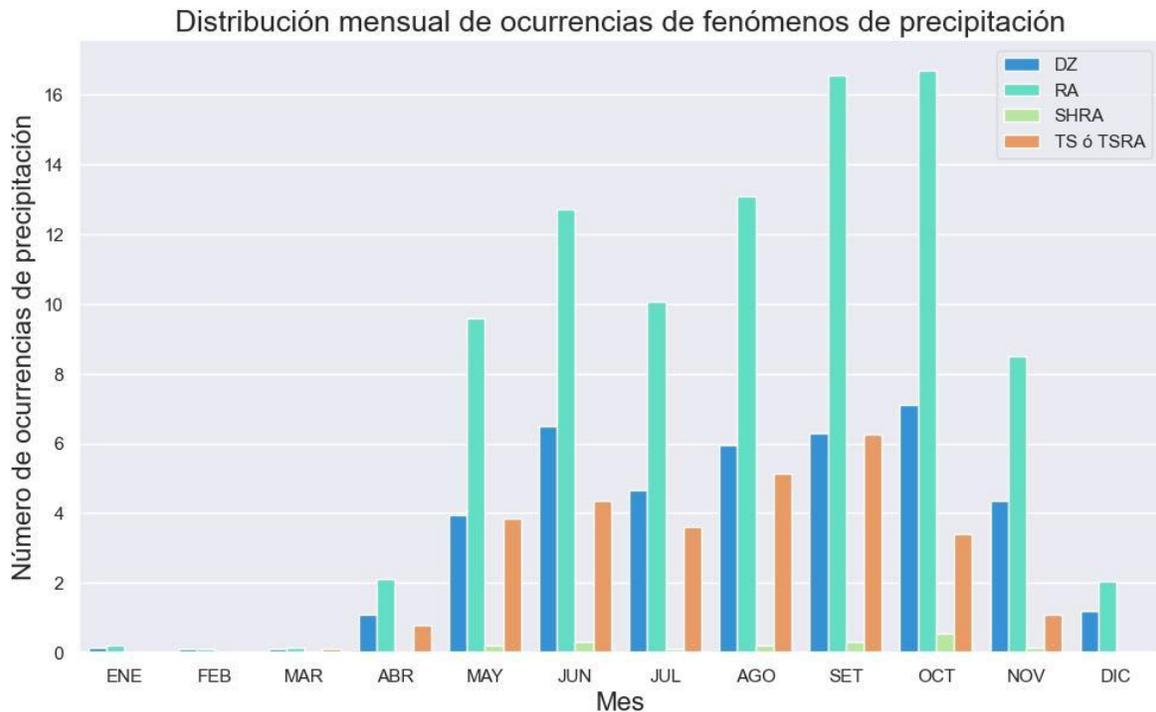


Figura 16. Distribución mensual de ocurrencias de lluvia, llovizna, chubascos y tormentas en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

Un aspecto relevante es que la lluvia, la llovizna y la tormenta presentan un comportamiento bimodal a lo largo del año. Es decir, dentro del periodo de incremento de las precipitaciones (abril a diciembre), se observa una disminución en julio, que representa un mínimo relativo en todos los casos. En particular, para la lluvia (figura 17), se evidencia un ascenso pronunciado a partir de mayo, superando las 8 ocurrencias. Su primer máximo se registra en junio, con 13 ocurrencias, seguido de un leve descenso en julio, antes de alcanzar un segundo máximo en octubre con más de 16 ocurrencias.

La llovizna exhibe un patrón de distribución similar al de la lluvia (figura 18), aunque con una frecuencia significativamente menor y una diferencia reducida entre sus dos picos. El primer máximo se presenta en junio, con poco más de 6 ocurrencias, mientras que el segundo se alcanza en septiembre, con 7 eventos reportados.

En el caso de la tormenta, su periodo de ocurrencia se extiende desde abril hasta noviembre, con menor frecuencia en los extremos de este intervalo (figura 19). A diferencia de los demás tipos de eventos asociados a la precipitación, las tormentas muestran una frecuencia relativamente uniforme entre mayo y julio, con un primer máximo en junio. Posteriormente, tras una ligera disminución en julio, se observa un segundo máximo en septiembre, donde la cantidad de eventos supera las 6 ocurrencias.

Desde una perspectiva horaria, se concluye que las precipitaciones en el AIDOQ ocurren con mayor frecuencia en horas de la tarde (figuras 20, 21, 22 y 23). Sin embargo, existen diferencias entre los distintos tipos: la lluvia y la llovizna presentan su pico en torno a las 18:00 horas, mientras que los aguaceros alcanzan su máxima frecuencia a las 13:00 y las tormentas a las 16:00. En el periodo matutino, la lluvia y la llovizna son más recurrentes, mientras que las tormentas y los aguaceros presentan un número de reportes cercano a cero o nulo.

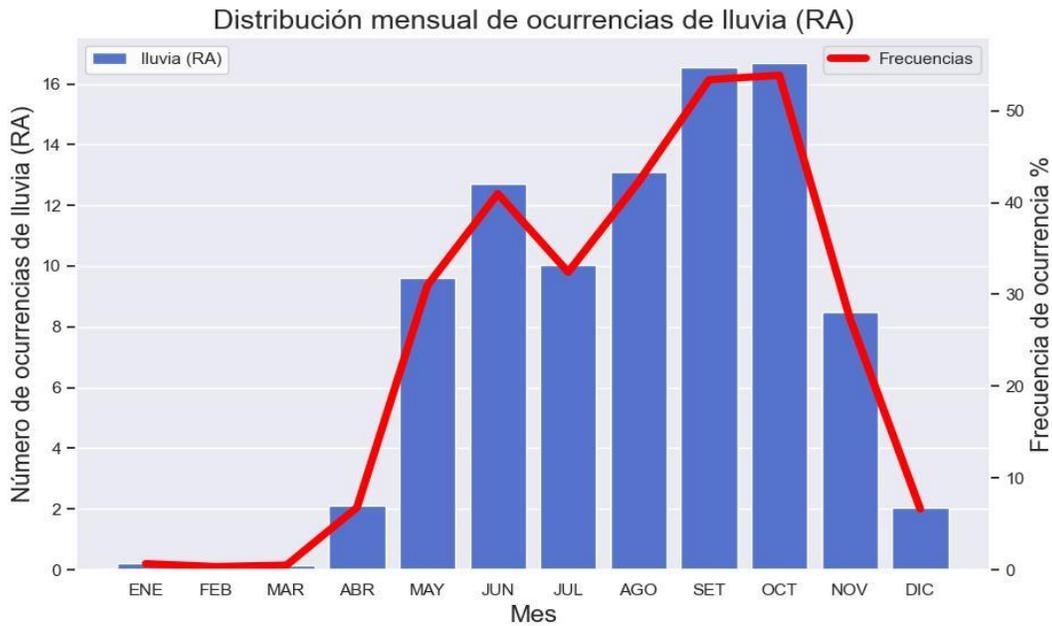


Figura 17. Valores mensuales medios de días con al menos 1 reporte de lluvia y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

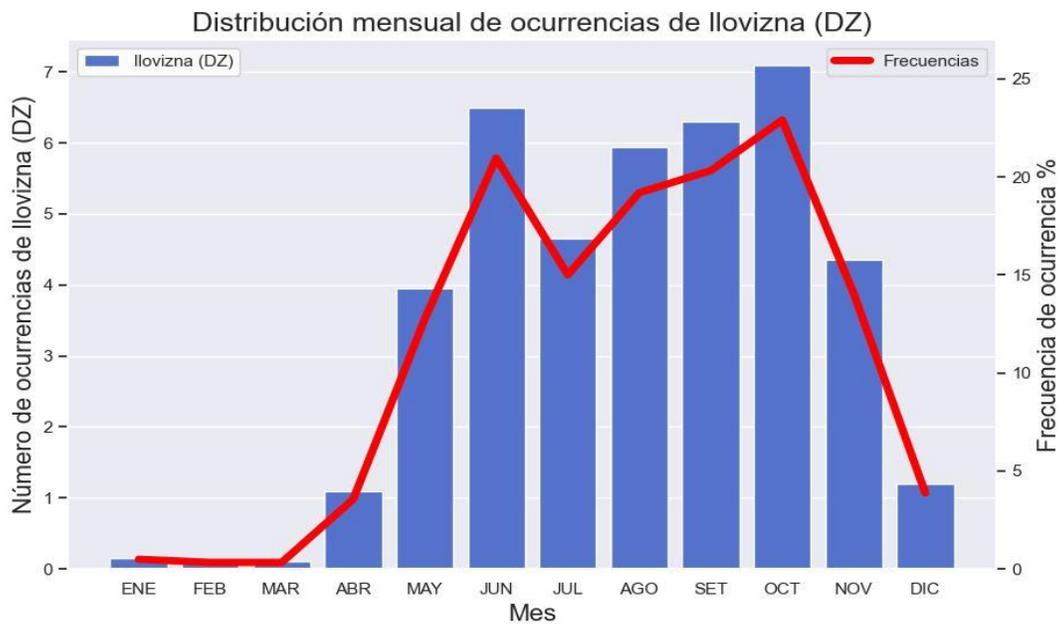


Figura 18. Valores mensuales medios de días con al menos 1 reporte de llovizna y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

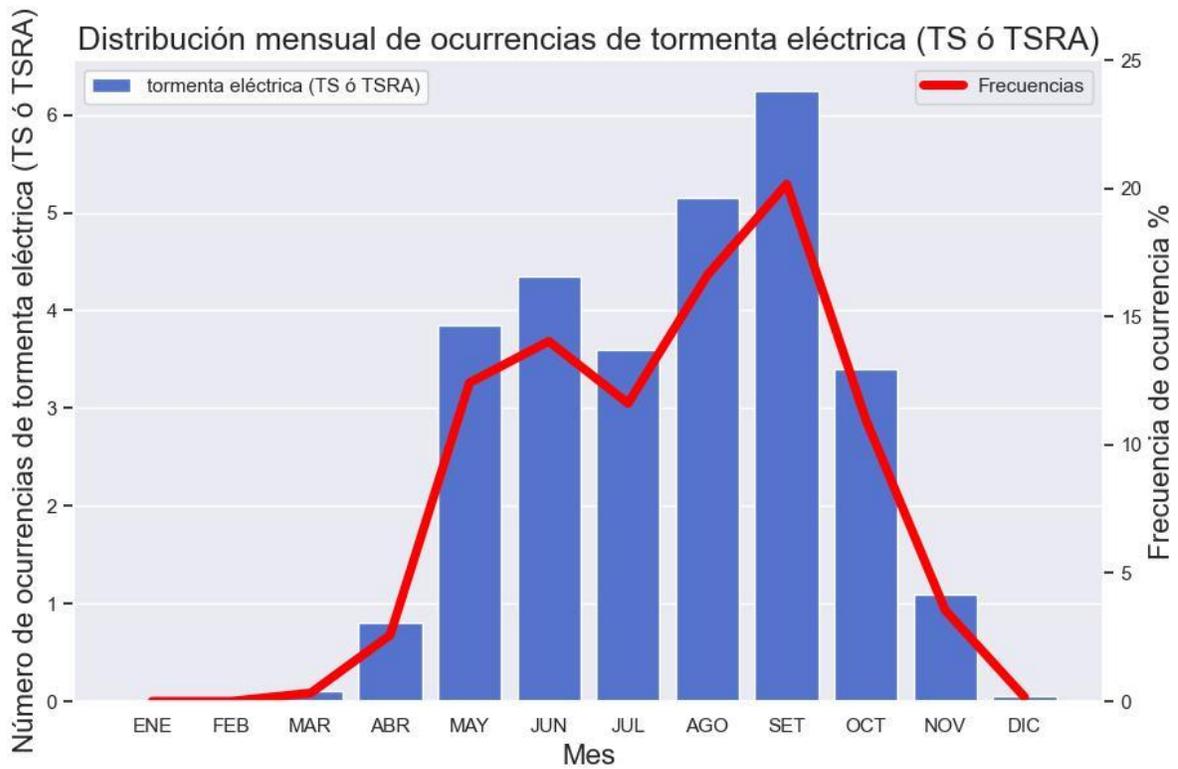


Figura 19. Valores mensuales medios de días con al menos 1 reporte de tormenta eléctrica y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

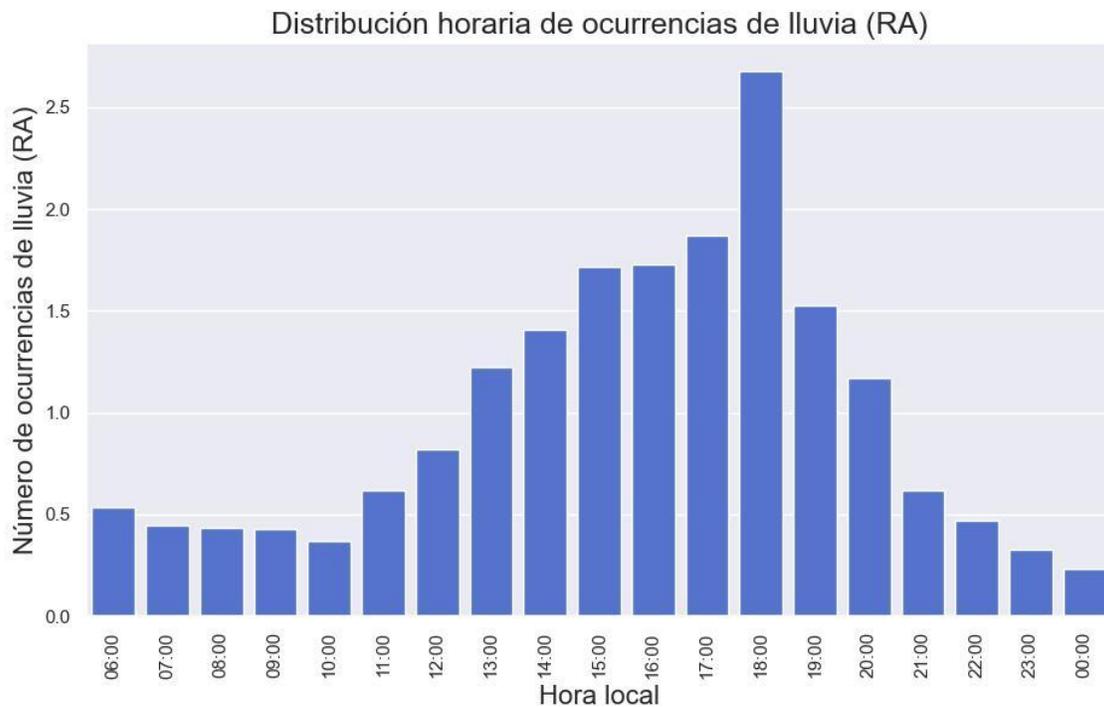


Figura 20. Valores horarios medios de reportes con lluvia durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

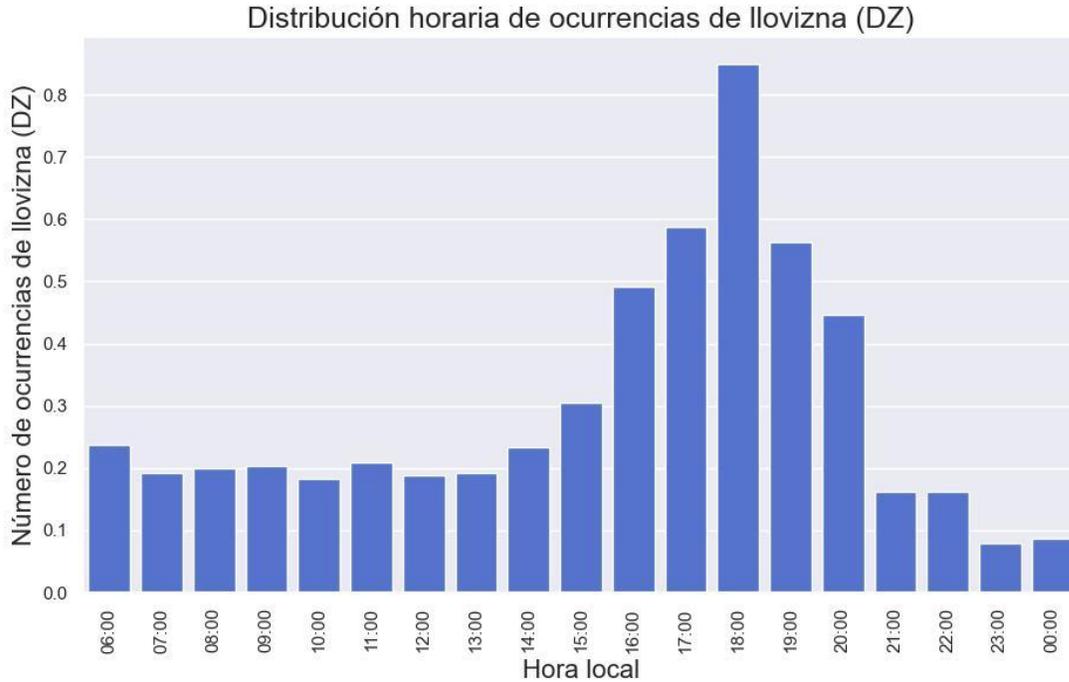


Figura 21. Valores horarios medios de reportes con llovizna durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

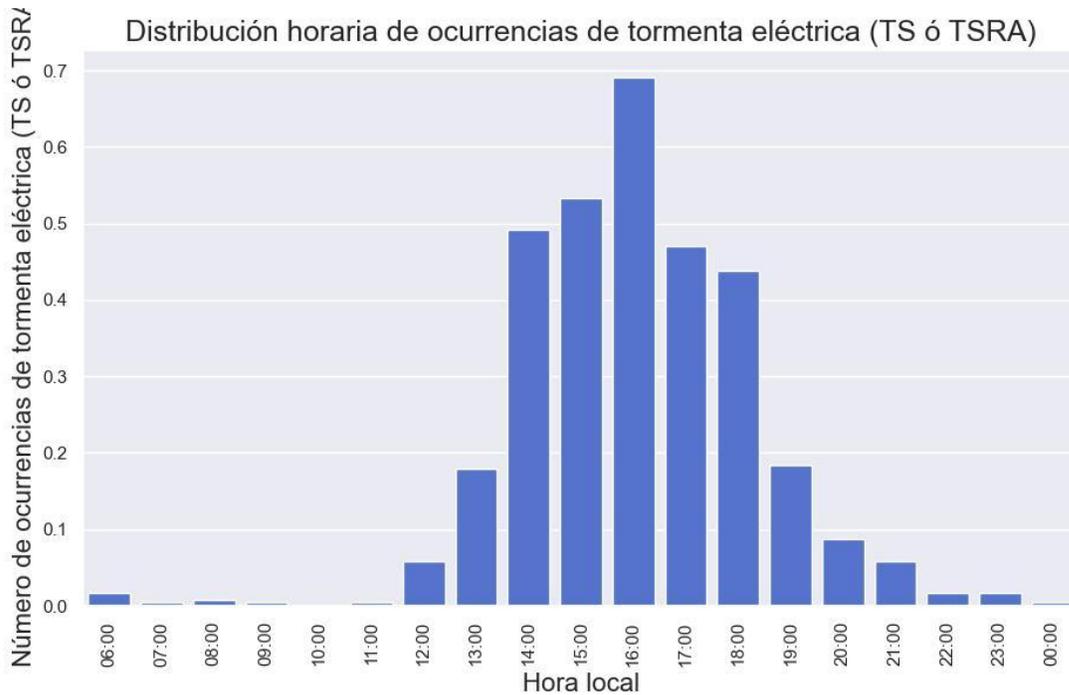


Figura 22. Valores horarios medios de reportes con tormenta eléctrica durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

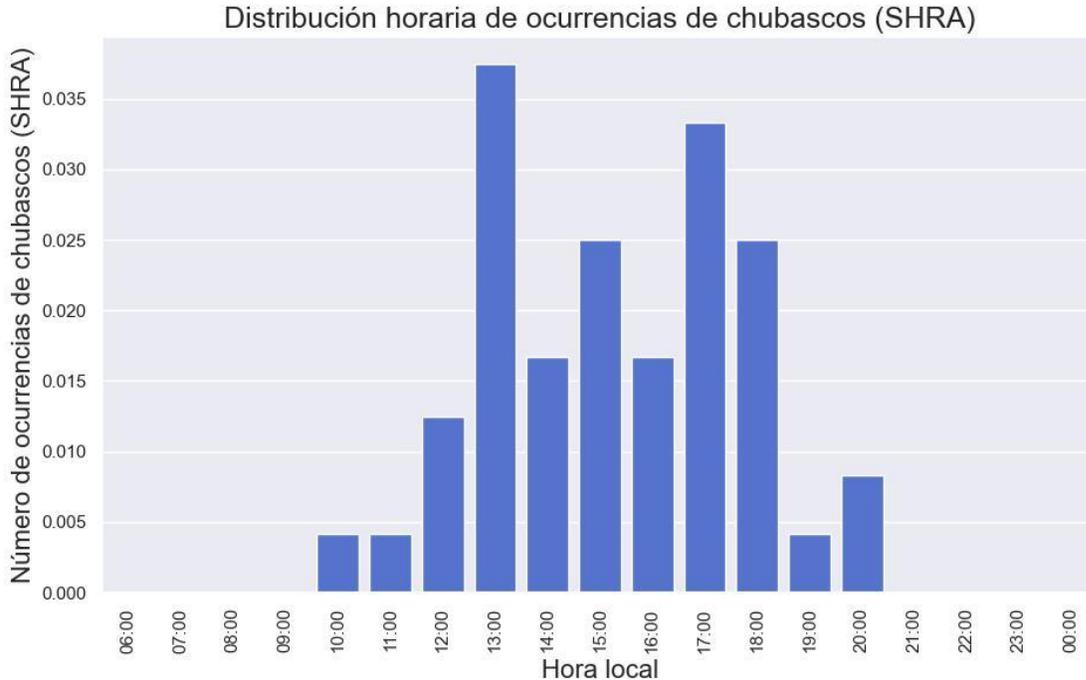


Figura 23. Valores horarios medios de reportes con chubascos durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.5.1 Hidrometeoros en suspensión

En la figura 24 se observa que la distribución mensual de las ocurrencias de niebla y neblina a lo largo del año presenta un patrón bimodal. A partir de mayo, se registra un incremento en la frecuencia de estos fenómenos, alcanzando un primer máximo en junio y un segundo pico, más pronunciado, entre septiembre y octubre. En cuanto a este segundo máximo, la niebla muestra su mayor número de ocurrencias en octubre, mientras que la neblina alcanza su punto más alto en septiembre.

Por otro lado, entre diciembre y abril, la presencia de estos fenómenos es mínima, con valores inferiores a una ocurrencia. Asimismo, se identifica un segundo mínimo relativo en julio y agosto, siendo julio el mes con la menor frecuencia en ambos casos.

En una escala horaria, la niebla se presenta con mayor frecuencia en las primeras horas de la mañana (figura 25), especialmente entre las 6:00 y las 7:00. A partir de las 9:00, su ocurrencia es prácticamente nula, aunque se observa un leve incremento cerca de la medianoche.

En el caso de la neblina, su comportamiento es similar al de la niebla, con una mayor incidencia en las primeras horas de la mañana (figura 26). Sin embargo, a diferencia de la niebla, la neblina se reporta con más frecuencia a lo largo del resto del día.

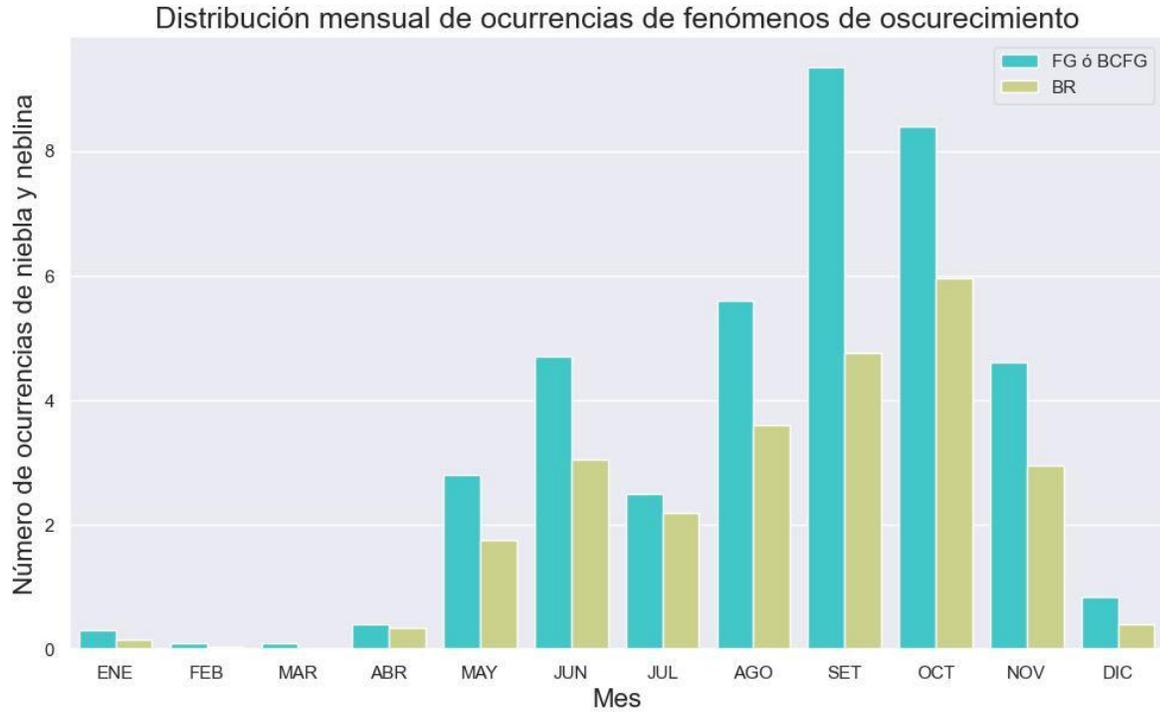


Figura 24. Distribución mensual de ocurrencias de niebla (FG) o bancos de niebla (BCFG) y neblina (BR) en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.



Figura 25. Valores horarios medios de reportes con FG o BCFG durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

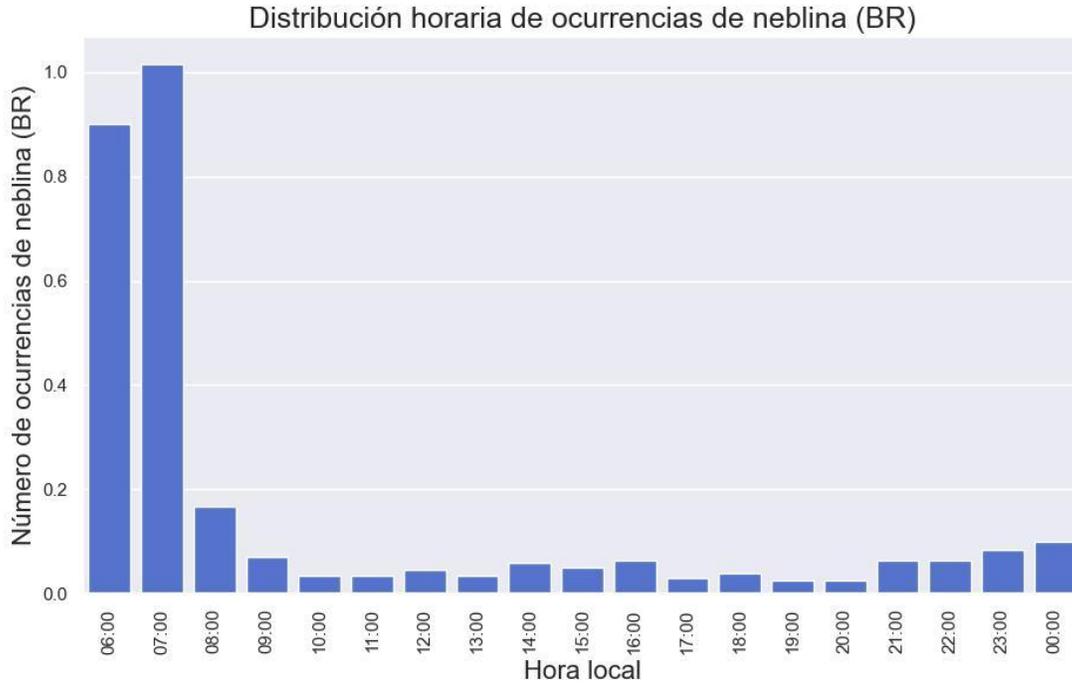


Figura 26. Valores horarios medios de reportes con BR durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

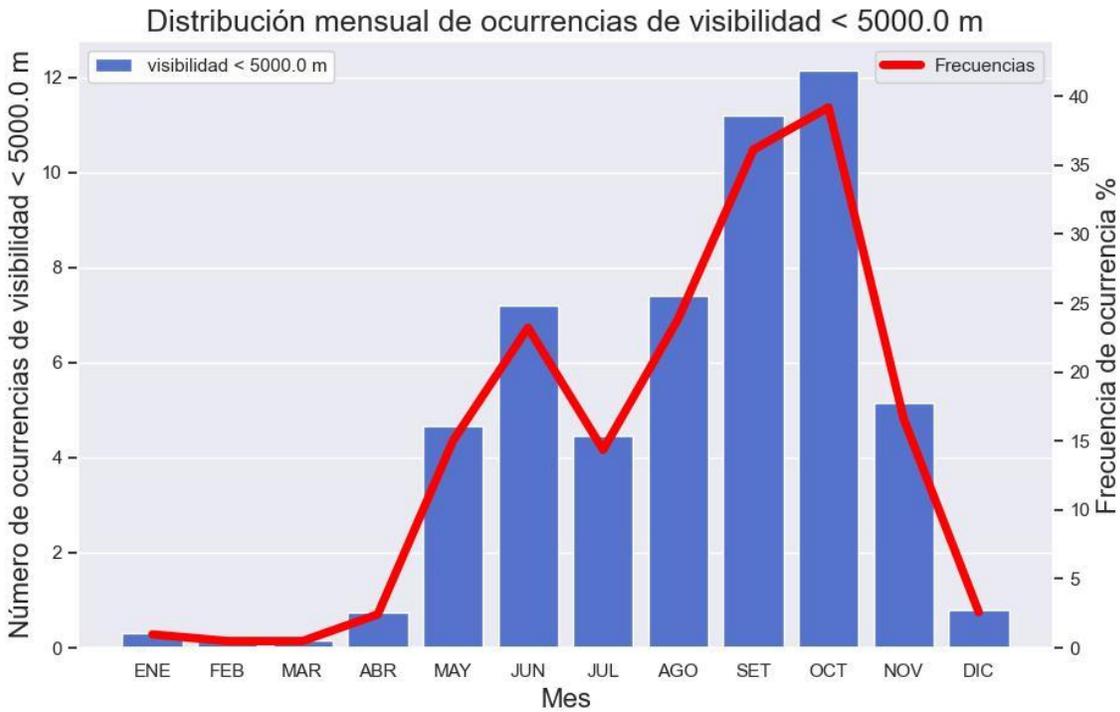


Figura 27. Valores mensuales medios de días con al menos 1 reporte de visibilidad < 5000 m y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.6 Visibilidad horizontal < 5000 m

Según la figura 27, la ocurrencia de visibilidad horizontal inferior a 5000 m en el AIDOQ es más frecuente entre abril y diciembre. Dentro de este periodo, se identifican dos máximos relativos: el primero en junio, con aproximadamente 7 ocurrencias y una frecuencia del 25%, y el segundo en octubre, con una frecuencia del 40%. Además, se observa una disminución relativa en julio, con cuatro ocurrencias y una frecuencia cercana al 15%. Por último, durante enero, febrero y marzo, la presencia de esta condición es mínima, con valores cercanos a cero.

Desde una perspectiva horaria, la visibilidad reducida por debajo de los 5000 m se reporta con mayor frecuencia en las primeras horas de la mañana, alcanzando un máximo de 3 ocurrencias a las 06:00 (figura 28).

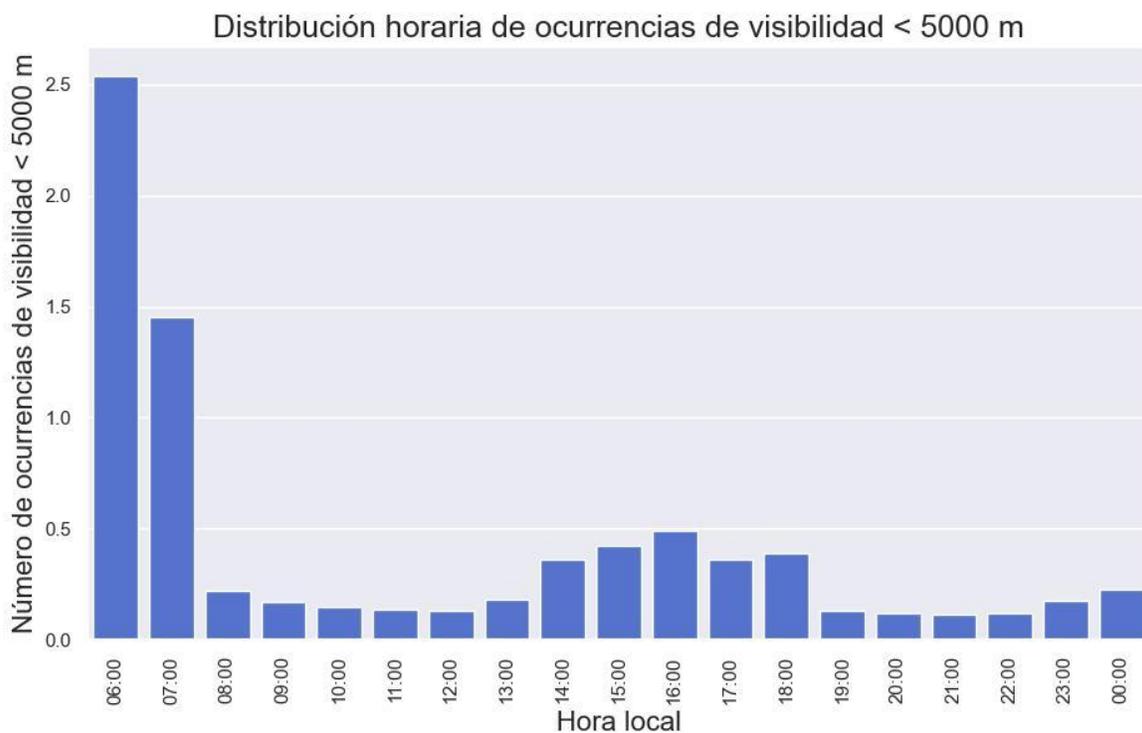


Figura 28. Valores horarios medios de reportes con BR durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.7 Techo de nubes < 1500 ft

La figura 29 muestra el número promedio mensual de ocurrencias de techo de nubes por debajo de los 1500 ft a lo largo del año. Se observa que esta condición es más frecuente entre mayo y noviembre, mientras que entre diciembre y abril su ocurrencia es mínima. Dentro del primer periodo, se registran dos máximos: el primero en junio y el segundo en septiembre, alcanzando en este último mes un total de 10 ocurrencias. Asimismo, en julio se identifica una disminución relativa, con solo dos reportes y una frecuencia inferior al 10%.

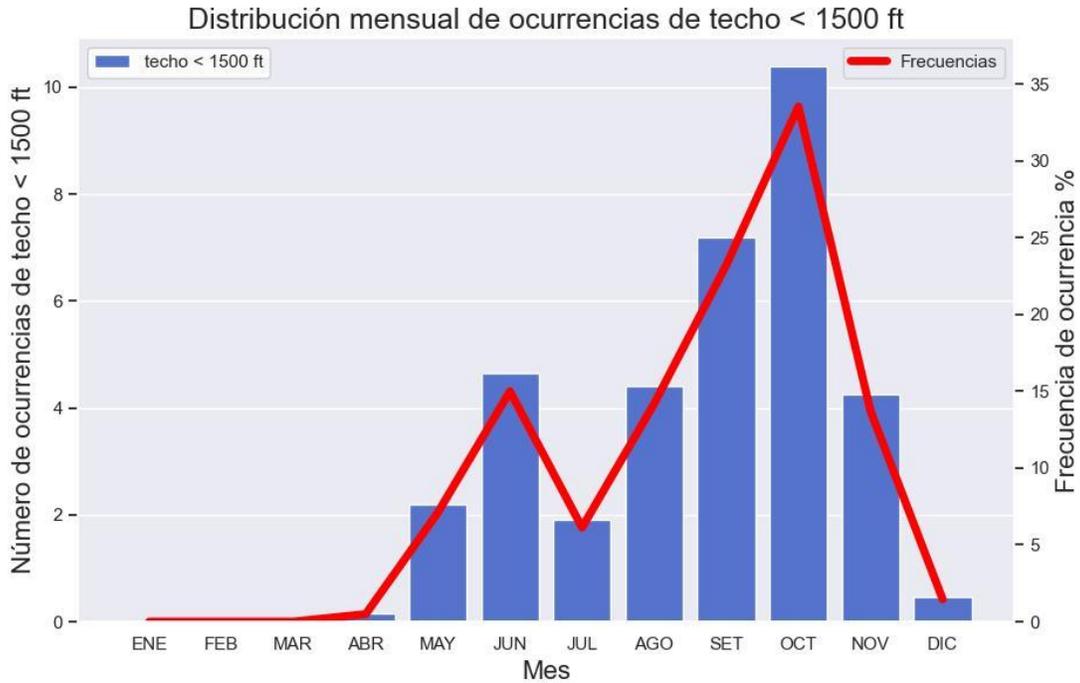


Figura 29. Valores mensuales medios de días con al menos 1 reporte de techo de nubes < 1500 ft y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

En cuanto a la variabilidad horaria, la figura 30 evidencia un mayor número de reportes en las primeras horas de la mañana, con un máximo de 6 ocurrencias entre las 07:00 y 08:00. Posteriormente, entre las 10:00 y 15:00, se observa una disminución a menos de 2 reportes, seguida de un segundo máximo entre las 16:00 y 18:00, con un total de 3 ocurrencias. Finalmente, después de este pico vespertino, la frecuencia vuelve a descender. En síntesis, los techos de nubosidad por debajo de 1500 ft son más frecuentes durante las primeras horas de la mañana y al final de la tarde en el AIDOQ.

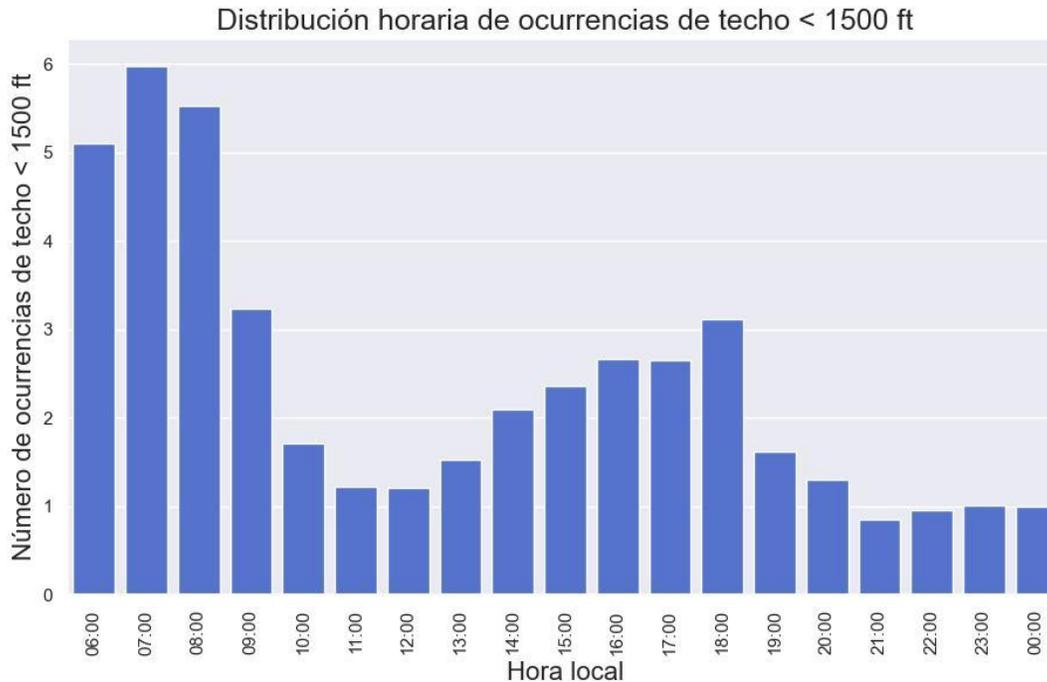


Figura 30. Valores horarios medios de reportes de techo de nubes < 1500 ft durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

3.8 CAVOK

A lo largo del año, la condición CAVOK se presenta con mayor frecuencia entre diciembre y abril, superando el 30%, mientras que entre mayo y noviembre su frecuencia es inferior al 10% (figura 31). Durante el primer periodo, las ocurrencias comienzan a aumentar en diciembre y alcanzan su máximo en marzo, con más del 60% (equivalente a un promedio superior a 20 reportes), seguido de una disminución progresiva a partir de abril. En contraste, durante el segundo periodo, se identifican dos mínimos relativos: el primero en junio y el segundo, más pronunciado, en octubre, con valores cercanos a cero.

En cuanto a su distribución horaria (figura 32), CAVOK se reporta con mayor frecuencia en la mañana, especialmente entre las 07:00 y 08:00. Posteriormente, entre las 10:00 y 15:00, su ocurrencia disminuye gradualmente, para luego registrar un repunte hacia finales de la tarde e inicios de la noche, con un máximo de 16 reportes a las 18:00.

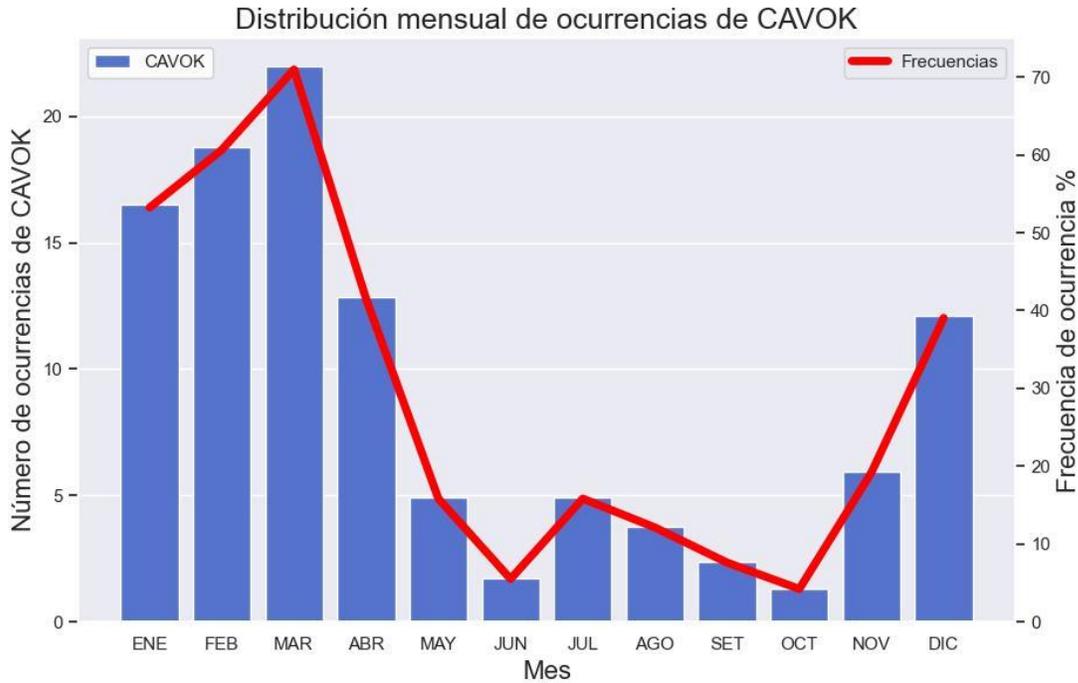


Figura 31. Valores mensuales medios de días con al menos 6 reportes de CAVOK y sus frecuencias de ocurrencia en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

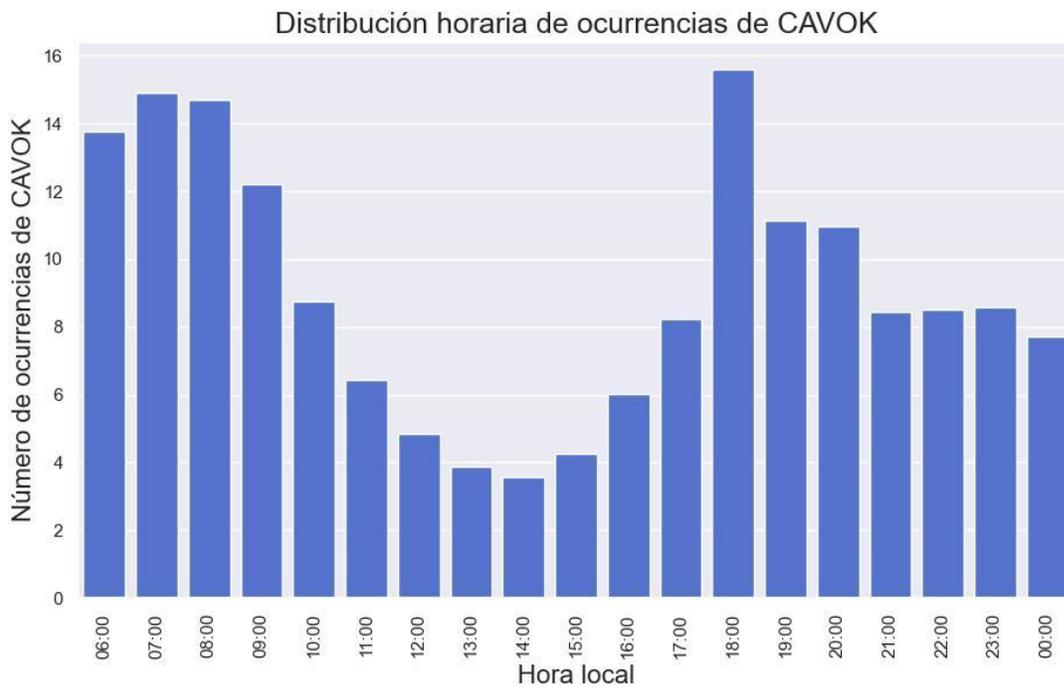


Figura 32. Valores horarios medios de reportes de CAVOK durante el horario de operación en el AIDOQ durante el periodo de 2005-2024.

4. CONCLUSIONES

El análisis de la climatología aeronáutica del AIDOQ ha permitido identificar patrones climáticos importantes que influyen en las operaciones aéreas en este aeropuerto. Se logró evidenciar que la región presenta un marcado régimen estacional, con una estación seca entre diciembre y marzo, y una estación lluviosa entre mayo y octubre, la cual reproduce los patrones climatológicos de la región del Pacífico Norte, donde este se encuentra. Estos hallazgos proporcionan una referencia clave para la planificación operativa, permitiendo anticipar condiciones meteorológicas y optimizar la gestión aeroportuaria.

El comportamiento del viento en superficie sigue una variabilidad estacional, con vientos predominantes del este y sureste durante la estación seca y del sur y suroeste en la época lluviosa. Se observó que la intensidad del viento alcanza sus valores máximos en los meses de enero a marzo, cuando la influencia de los vientos alisios es mayor. Además, las ráfagas de viento son más frecuentes en estos meses.

En cuanto a la temperatura, el análisis muestra que las máximas se registran en abril, con valores promedio que pueden superar los 37°C, mientras que las mínimas ocurren en octubre. El rango diurno de temperatura es mayor en la estación seca, mientras que en la estación lluviosa disminuye por efecto de una mayor presencia de nubosidad, tanto en el día, como durante la noche.

La precipitación anual presenta un patrón bimodal, con máximos en junio y octubre y una disminución relativa en julio, fenómeno asociado al "veranillo" o canícula. Octubre es el mes con mayor acumulado de lluvia, mientras que enero y febrero registran los valores más bajos. Asimismo, la distribución diaria de las precipitaciones indicó que las lluvias son más frecuentes en las tardes y noches en el AIDOQ.

VARIABLES COMO LA PRESENCIA DE HIDROMETEOROS COMO NIEBLA Y NEBLINA Y LAS CONDICIONES ASOCIADAS A LA VISIBILIDAD REDUCIDA TAMBIÉN MOSTRARON UN PATRÓN ESTACIONAL. LA REDUCCIÓN DE LA VISIBILIDAD MENOR A 5000 M ES MÁS FRECUENTE ENTRE ABRIL Y DICIEMBRE, CON PICOS EN JUNIO Y OCTUBRE, MESES CON LOS MÁXIMOS DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN. ADemás, LA OCURRENCIA DE TECHOS DE NUBES POR DEBAJO DE LOS 1500 FT TAMBIÉN ES MÁS COMÚN EN LA ÉPOCA LLUVIOSA.

Por el contrario, la condición CAVOK, indicadora de cielos más despejados y óptimas condiciones meteorológicas para la navegación aérea, es más frecuente en la estación seca, con un máximo en marzo. Durante la estación lluviosa, su frecuencia disminuye considerablemente, lo que resalta la necesidad de información meteorológica precisa y oportuna para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas en el AIDOQ.

5. REFERENCIAS

- Alfaro, E. J. (2002). Some characteristics of the annual precipitation cycle in Central America and their relationships with its surrounding tropical oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E. J. (2014). Caracterización del "veranillo" en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1-15.

- Alfaro Martínez, E. J., y Quesada Román, A. (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica.
- Amador, J. A. (2008). The intra-Americas sea low-level jet: Overview and future research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 153-188.
- Amador Astúa, J. A., Maldonado Mora, T. J., Rivera Fernández, E., Alfaro Martínez, E. J., Castillo Rodríguez, R. A., Durán Quesada, A. M., Garbanzo, M., Hidalgo, H.G., Mora, G. y Vega Riquelme, C. P. (2018). La Corriente en Chorro del Caribe: Observaciones, modelado multifísica, interacciones multiescala e impacto regional.
- Calvo-Solano, O. D., Quesada-Hernández, L., Hidalgo, H., y Gotlieb, Y. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. *Agron. Mesoam*, 695-709.
- Federal Aviation Administration. (s.f.). *NextGen Weather program: Frequently asked questions*. U.S. Department of Transportation. Retrieved January 17, 2025, from <https://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/faq>
- Frades, A. M., y Izquierdo, A. (2018). Meteorología aeronáutica: un marco de estudio esencial para comprender el impacto del tiempo en la aviación. *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, (35).
- Garro Molina, D., Campos Zúñiga, P., Mora Pérez, A., y Salazar Víquez, R. (2024). *Climatología Aeronáutica 2005-2023: Aeropuerto Internacional Juan Santamaría*. Instituto Meteorológico Nacional.
- González Hernández, C. D. (2023). Comportamiento estacional de la zona de convergencia intertropical en el Pacífico Este y el Mar Caribe.
- Gultepe, I. (2023). A review on weather impact on aviation operations: Visibility, wind, precipitation, icing. *Journal of Airline Operations and Aviation Management*, 2(1), 1-44.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). *Clima en Costa Rica*. Vertiente Pacífico. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/clima-en-costa-rica>
- Long, T. (2022). Analysis of weather-related accident and incident data associated with Section 14 CFR Part 91 Operations. *The Collegiate Aviation Review International*, 40(1).
- Mora Sandí, N. (2020). La brisa marina en el Pacífico central de Costa Rica durante Ticosonde-NAME 2004: observaciones y modelado numérico. [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI, UCR. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/e30fa78a-6703-4799-a4b2-820536bf33a2/full>
- Magaña, V., Amador, J. A., y Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588.
- Muñoz, A. C., Fernández, W. A. L. T. E. R., Gutiérrez, J. A., y Zárate, E. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog*, 9(1), 1-13.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). Anexo 3: Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea Internacional. Quebec, Canadá.
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas*. ISBN 978-92-63-30100-0.

- Poleo-Brito, D., Solano León, E. y Stolz España, W. (2014). La Oscilación Madden Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 2014(58).
- Quirós Badilla, E., y Hidalgo León, H. G. (2016). Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico este.
- Reinhardt, M. E. (1989). La meteorología aeronáutica al servicio de la aviación. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, 38(1), 23–28.
https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/16126/1/Boletin_OMM-38_1%281%29.pdf
- Rodríguez-Sanz, Á., Cano, J., y Rubio Fernández, B. (2022). Impact of weather conditions on airport arrival delay and throughput. *Aircraft engineering and aerospace technology*, 94(1), 60-78
- Schultz, M., Lorenz, S., Schmitz, R., y Delgado, L. (2018). Weather impact on airport performance. *Aerospace*, 5(4), 109.
- Small, R. J. O., De Szoeki, S. P., y Xie, S. P. (2007). The Central American midsummer drought: regional aspects and large-scale forcing. *Journal of Climate*, 20(19), 4853-4873.
- Ugalde, K., Alfaro, E. J., Hidalgo, H. G., y Maldonado, T. (2024). Caracterización climática de la lluvia del Pacífico Norte de Costa Rica usando análogos construidos. *Revista Tecnología en Marcha*, ág-3.