

Climatología Aeronáutica 2005-2024

Aeropuerto Internacional de Limón

Paula Campos Zúñiga, Raquel Salazar Víquez, Diego Garro Molina

Resumen

El análisis climatológico del Aeropuerto Internacional de Limón (AIL), realizado para el periodo 2005–2024, revela patrones atmosféricos consistentes que impactan directamente en la operatividad aérea. Entre los hallazgos más relevantes se encuentran la alta frecuencia de lloviznas en los meses de diciembre, enero, junio y julio; la disminución de visibilidad y la presencia de techos nubosos bajos en las primeras horas del día; así como una marcada variación estacional en la temperatura, presión y velocidad del viento.

Ubicado en la subregión Caribe Sur de Costa Rica, el AIL opera bajo condiciones climáticas dominadas por la advección constante de humedad desde el Atlántico, la influencia del Jet de Bajo Nivel del Caribe y la variabilidad inducida por fenómenos como ENSO, MJO y NAO. Estas dinámicas condicionan la distribución horaria y estacional de variables meteorológicas clave, afectando la planificación de vuelos, la gestión del espacio aéreo y la seguridad operacional.

El presente estudio se basa en series temporales horarias de reportes METAR generados entre las 12:00 y las 00:00 UTC. Los datos, provenientes de estaciones automáticas y observaciones de superficie, fueron sometidos a validación y análisis estadístico, con el objetivo de identificar regularidades, extremos y condiciones críticas. Se consideraron parámetros como viento, temperatura del aire y del punto de rocío, presión atmosférica, visibilidad horizontal, nubosidad, fenómenos de tiempo presente y condiciones de vuelo tipo CAVOK.

Los resultados aportan una base científica sólida para la toma de decisiones en gestión aeroportuaria y navegación aérea. Asimismo, contribuyen al cumplimiento de los estándares establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la

normativa nacional RAC-03, fortaleciendo la resiliencia operativa frente a condiciones meteorológicas adversas.

1. INTRODUCCIÓN

La climatología aeronáutica es de suma importancia para la seguridad operacional, así como para la regularidad y eficiencia en la aviación. Estos datos permiten a los operadores aeroportuarios planificar vuelos y tomar decisiones, contribuyendo a la mitigación de los riesgos que se puedan presentar en la aviación, asociados a condiciones meteorológicas adversas para la aeronáutica, optimizando los recursos, además, de cumplir con estándares internacionales (Reglamento de Servicio meteorológico para la navegación aérea [RAC-03], Decreto N°42678, 2020) y lo estipulado en el Convenio de Aviación Civil Internacional, Ley N°877, 1947.

Uno de los desafíos para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones aeroportuarias son las condiciones meteorológicas adversas. Fenómenos atmosféricos como tormentas, niebla espesa, viento cruzado, presencia de ceniza volcánica entre otros, pueden ocasionar efectos negativos en los vuelos, aterrizajes y despegue (Organización de Aviación Civil Internacional [OACI], 2018). Por este motivo, la información climatológica aeronáutica desempeña un papel fundamental para que las partes interesadas y los usuarios puedan considerar la información brindada y organizar sus operaciones con antelación, tomando las previsiones necesarias de acuerdo con las características climáticas de cada época.

Los datos brindados en la climatología deben contar con los más altos estándares internacionales, ya que el valor agregado que esta brinda radica en su capacidad de anticipar y mitigar los impactos ocasionados por las condiciones climáticas en la aviación, contribuyendo a la gestión del tránsito aéreo y reduciendo los riesgos asociados (RAC03, 2020).

El Aeropuerto Internacional de Limón (AIL), se encuentra ubicado en la provincia de Limón, Costa Rica, frente a la costa del Mar Caribe (figura 1). Su pista de aterrizaje está centrada sobre los 09°57'N de latitud y los -83°01'W de longitud, a una elevación de 2 m.s.n.m

(Dirección General de Aviación Civil [DGAC], 28 de diciembre, 2023). En términos de regiones climáticas de Costa Rica, el AIL se localiza en la Región Caribe, específicamente en la subregión Caribe Sur (Manso et al., 2005), la cual, es una región sin época lluviosa definida, (pero que presenta dos máximos relativos de lluvia bien establecidos en los meses de julio y diciembre) y además, húmeda (IMN, 2008).

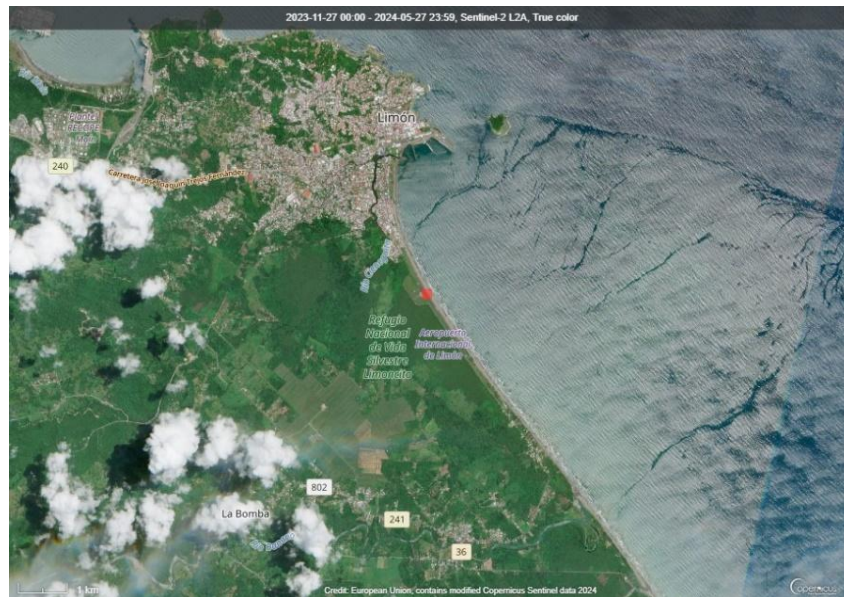


Figura 1. Ubicación geográfica del AIL. Fuente: Copernicus, 2024.

La climatología del AIL se basa en los datos brindados por el Instituto meteorológico Nacional (IMN) por medio de: (i) Informes Meteorológicos de Aeródromo (Meteorological Aerodrome Report, METAR) (Organización de Aviación Civil Internacional [OACI], 2018), los cuales, abarcan desde desde las 12:00 hasta las 23:59 UTC (DGAC, 2012).

Para efectos de este documento, es importante conocer los códigos internacionales del AIL, definidos por la OACI y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), los cuales se muestran en la Tabla 1 (EAS Barcelona, 21 de abril, 2023).

Tabla 1. Códigos de identificación internacional para el AIL.

Organización	Código del Aeropuerto
OACI	MROC
IATA	LIO

La presente climatología tiene el propósito de minimizar interrupciones y maximizar la seguridad operacional, lo cual permite la adaptación a condiciones climáticas locales y estacionales.

1.1. CLIMA DE LA REGIÓN CARIBE

La región sur de la vertiente del Caribe en Costa Rica se caracteriza por un clima húmedo sin una estación lluviosa definida (Pérez-Briceño et al., 2013; IMN, 2008). En esta área, los vientos del oeste son frecuentes durante las noches y las mañanas, debido a la brisa que sopla de la tierra hacia el mar. Esta circulación se produce porque la alta capacidad calorífica del agua provoca que el mar mantenga una temperatura más elevada que la tierra durante la noche (IMN, 2008).

Durante el día, los vientos del este-noreste son frecuentes, ya que se genera un flujo paralelo a la superficie terrestre que sopla del mar hacia la tierra debido a que, en este periodo, la tierra presenta temperaturas más elevadas que el mar (Muñoz et al., 2002). Sin embargo, en algunas zonas costeras del Caribe Sur pueden presentarse vientos del oeste durante el día, como resultado de la presencia de un rotor que también influye en la circulación atmosférica regional (IMN, 2008).

El régimen de lluvias en el Caribe costarricense está fuertemente influenciado por los vientos alisios, que predominan desde el este-noreste y facilitan el transporte de humedad hacia la región mediante procesos de advección (Amador, 2008; Amador, 2013; Amador et al., 2018; Durán-Quesada et al., 2017). A lo largo del año, se registra un máximo en el acumulado total de precipitación en Julio, lo que se atribuye principalmente al

fortalecimiento del Jet de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés) (Amador, 2008; Amador et al., 2018; Wang et al., 2007; Maldonado, 2013; Durán-Quesada, 2012).

Durante el periodo invernal (diciembre, enero y febrero), se registra un segundo máximo en las precipitaciones, atribuible en gran parte a la llegada de empujes fríos y líneas de cortante al país. Estos eventos de escala sinóptica están asociados con un aumento en la intensidad de los vientos alisios y con el arrastre de humedad hacia Costa Rica, afectando especialmente las regiones del Caribe y la Zona Norte (Chinchilla et al., 2016; Chinchilla et al., 2017).

En septiembre y octubre, la región experimenta un mínimo en las precipitaciones. Según Alfaro et al. (2014), esto se debe al debilitamiento de los vientos alisios y al aumento en la incursión de los llamados vientos ecuatoriales hacia la zona, lo cual está relacionado con el incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Atlántico y el mar Caribe, así como con la ocurrencia de ciclones tropicales cerca de las costas del Caribe de Centroamérica (Alfaro-Martínez et al., 2024).

Por otro lado, es importante señalar que las condiciones climáticas promedio de una región pueden verse alteradas por los denominados modos de variabilidad climática, los cuales abarcan escalas espaciales que van desde lo regional hasta lo continental y escalas temporales que pueden ir de días a décadas (Poleo, 2016). En la Vertiente del Caribe, se ha identificado al fenómeno El Niño-Oscilación del sur (ENSO) como uno de los principales moduladores de los patrones de precipitación (Orozco Montoya, R. 2023), llevando a un aumento de los vientos alisios durante su fase positiva y a una disminución en su fase negativa.

También se ha identificado la Oscilación de Madden-Julian (MJO, por sus siglas en inglés), que, acorde a Poleo-Brito (2014), afecta principalmente esta región durante las fases 4, 5 y 6. También destaca la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), la cual tiene una influencia diferenciada a lo largo del año, con una correlación positiva durante julio y agosto (Waylen et al., 1996a) y una correlación negativa en el periodo comprendido entre noviembre y enero (Waylen et al., 1996b)

2. METOLOGÍA

El presente análisis se fundamenta en la revisión y procesamiento de datos meteorológicos contenidos en los reportes de Aeródromo (METAR), emitidos con una frecuencia horaria por la Oficina Meteorológica Aeronáutica (OMA) del Aeropuerto Internacional de Limón (AIL). La información abarca el periodo comprendido entre los años 2005 y 2024, y corresponde al intervalo de operación diaria del aeródromo, definido entre las 12:00 y las 00:00 UTC.

Los datos incluidos en los reportes METAR se originan a partir de dos fuentes primarias: (i) mediciones instrumentales provenientes de una estación meteorológica automática (EMA) instalada en el aeródromo, y (ii) observaciones en superficie realizadas por el personal técnico de la OMA, de conformidad con los procedimientos establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Esta doble fuente garantiza la integridad y representatividad de los datos utilizados en el análisis.

Las variables consideradas en el análisis se detallan en la tabla 2, acompañadas de la respectiva fuente de origen. Asimismo, se integraron los datos de precipitación acumulada, así como las temperaturas máximas y mínimas, obtenidos directamente de la base de datos de la EMA del IMN, localizada en el aeropuerto (Garro Molina et al., 2024).

Durante la fase de procesamiento de datos, se implementó un protocolo de control de calidad orientado a la detección y depuración de registros anómalos o no representativos. Aquellos valores que presentaron inconsistencias fueron objeto de un proceso de validación cruzada, mediante la consulta de los resúmenes meteorológicos elaborados por el Departamento de Meteorología Sinóptica del Instituto Meteorológico Nacional (Garro Molina et al., 2024).

Una vez completada la etapa de validación, se procedió al cálculo de promedios horarios, diarios y mensuales para cada una de las variables meteorológicas analizadas. A partir de las series temporales generadas, se desarrollaron representaciones gráficas que facilitaron el análisis estadístico y la identificación de patrones climatológicos relevantes.

Tabla 2. Variables meteorológicas consideradas en el análisis, extraídas de los reportes METAR horarios emitidos por la Oficina Meteorológica Aeronáutica del AIL durante el periodo 2005–2024.

Variable	Fuente
Viento (dirección, magnitud y ráfagas)	EMA
Temperatura	
Temperatura de rocío	
Presión atmosférica	
Visibilidad horizontal	Observación meteorológica aeronáutica
Nubosidad (visibilidad vertical)	
Fenómenos de tiempo presente	

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la tabla 3 se exhibe el comportamiento de los valores medios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas (°C), las temperaturas extremas (°C) y del acumulado de precipitación total (mm) en el Aeropuerto Internacional de Limón (AIL). Esta información se analiza junto con la figura 2, la cual representa el comportamiento gráfico de las temperaturas medias mensuales máximas y mínimas, junto con el acumulado de precipitación total medio y el valor medio de días con precipitación.

Tabla 3. Resumen de los valores extremos y medios mensuales de las variables meteorológicas temperatura y precipitación total para el periodo 2005-2024 en el AIL.

Mes	Temperaturas máxima/ mínima (extrema) (°C)	Temperaturas máxima/ mínima (media) (°C)	Precipitación total, media (mm)	Media de días con precipitación (mm)
Ene	31.6/15.4	30.6/18.7	299.6	20
Feb	31.8/17.5	30.7/18.8	203.3	18
Mar	32.9/18.2	31.0/19.3	209.2	19
Abr	33.2/18.1	31.5/20.0	258.6	19
May	33.6/19.9	32.1/21.2	296.6	21
Jun	33.2/20.8	32.1/21.7	253.1	21
Jul	32.4/19.6	31.6/21.3	481.6	25
Ago	33.0/20.4	31.9/21.4	227.7	18
Set	35.9/11.2	32.6/20.5	148.6	15
Oct	33.2/19.9	32.4/21.1	159.3	18
Nov	33.9/18.5	32.1/20.3	361.0	22
Dic	32.1/14.3	30.8/19.6	375.8	24

Climograma del AIL (2005-2024)

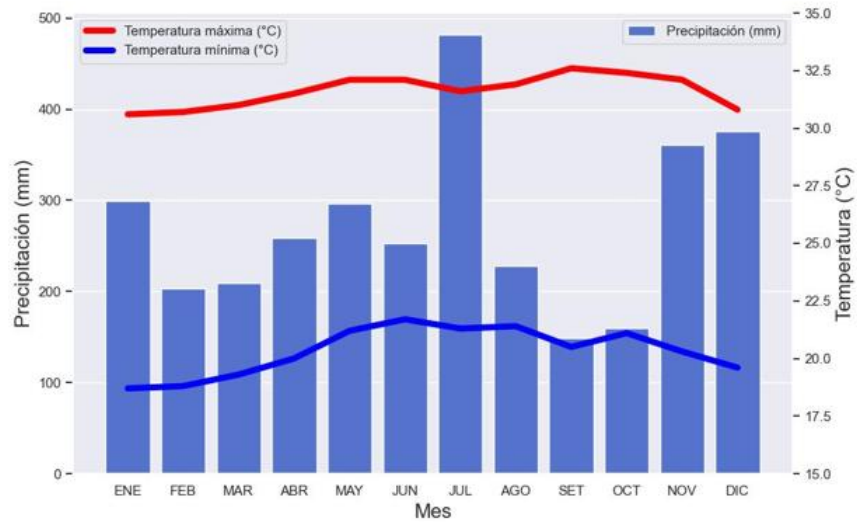


Figura 2. Climograma del AIL para el periodo 2005-2024. Se muestra la distribución de las temperaturas máximas (línea roja) y mínimas (línea azul) (°C), junto con el promedio de la precipitación total (mm) (barras azules).

Iniciando con la temperatura máxima media, se observa que alcanza sus valores más bajos durante los meses de diciembre, enero y febrero, situándose por debajo de los 32°C. A partir de marzo, la temperatura comienza a ascender, alcanzando valores superiores a los 32°C en dos periodos: de mayo a junio y de septiembre a noviembre, con un mínimo relativo en julio. El valor máximo medio anual se registra en septiembre.

Por su parte, la temperatura mínima media presenta un comportamiento similar hasta agosto. Sus valores más bajos, por debajo de los 20°C, ocurren en diciembre, enero y febrero (invierno boreal), con un incremento progresivo a partir de marzo que culmina en un primer máximo de 21.7°C en junio. No obstante, a diferencia de la temperatura máxima media, esta experimenta un descenso a partir de julio, alcanzando un mínimo relativo de 20.5°C en septiembre, seguido de un leve repunte en octubre.

En relación con las temperaturas extremas, la temperatura máxima extrema sigue un patrón similar al de la temperatura media máxima, con valores mínimos durante el invierno boreal, un mínimo relativo en julio y dos máximos relativos, con el valor más alto del año

en septiembre (35.9°C). En contraste, la temperatura mínima extrema presenta un comportamiento distinto, con valores que oscilan entre 11.2°C en septiembre y 20.8°C en junio.

Respecto a la precipitación total media mensual, se identifican periodos diferenciados de incremento y disminución en la región del AIL. Se observan dos fases de aumento de las precipitaciones: la primera entre noviembre y enero, con acumulados entre 300 y 400 mm y más de 20 días en promedio con reportes de precipitación, y la segunda en julio, cuando se superan los 400 mm y se alcanza un número máximo de 25 días de reportes. Los periodos de menor precipitación se registran entre febrero y junio, con valores entre 200 y 300 mm, mientras que el mínimo anual ocurre en septiembre y octubre, con registros inferiores a 200 mm y un mínimo de 15 días de precipitación en setiembre.

a) Viento

El viento constituye una variable fundamental para la evaluación de las condiciones meteorológicas que afectan la operatividad y la seguridad aeroportuaria. A continuación, se analizan sus principales características —dirección, magnitud y ráfagas— a partir de los datos registrados durante el periodo comprendido entre 2005 y 2024, en el intervalo horario de 12Z a 00Z.

a.1) Magnitud

La figura 3 presenta gráficos de contorno que ilustran la distribución de la dirección del viento a lo largo de los doce meses del año. Entre marzo y mayo, se observa una predominancia de vientos del sur-suroeste durante las horas matutinas, los cuales tienden a virar hacia el sureste hacia el final de ese periodo. En las horas de la tarde, la dirección predominante se orienta principalmente desde el este. Por su parte, en el trimestre comprendido entre junio y agosto, los vientos matutinos continúan mostrando una clara componente sur-suroeste, mientras que en las tardes se registra un dominio más consistente de vientos provenientes del sureste.

A partir de setiembre en las mañanas se presentan direcciones de variabilidad más estables del sur-suroeste y en el periodo de la tarde variaciones entre el noreste y sur, dominando

el sureste (figura 4). Los meses de octubre y noviembre muestran un comportamiento similar al de setiembre, sin embargo, es notorio el cambio con respecto al comportamiento de la dirección en las tardes, por ejemplo, en octubre prevalecen los vientos con variaciones del este al sur y noviembre, los tonos naranjas y rojos dominan, lo que confirma un predominio de vientos más constantes desde el sur- suroeste en la mayor parte del día.

De diciembre a febrero, es posible notar que el patrón tiende a ser más similar al resto del año, en comparación con noviembre, en donde, la dirección del viento que predomina durante el periodo diurno es del sur-suroeste y en las tardes variaciones entre el noreste y sureste, dominando el sureste, lo cual, podría estar asociado a patrones atmosféricos estacionales, como sistemas de alta presión, dada la época.

Distribución diaria de la dirección del viento por mes.

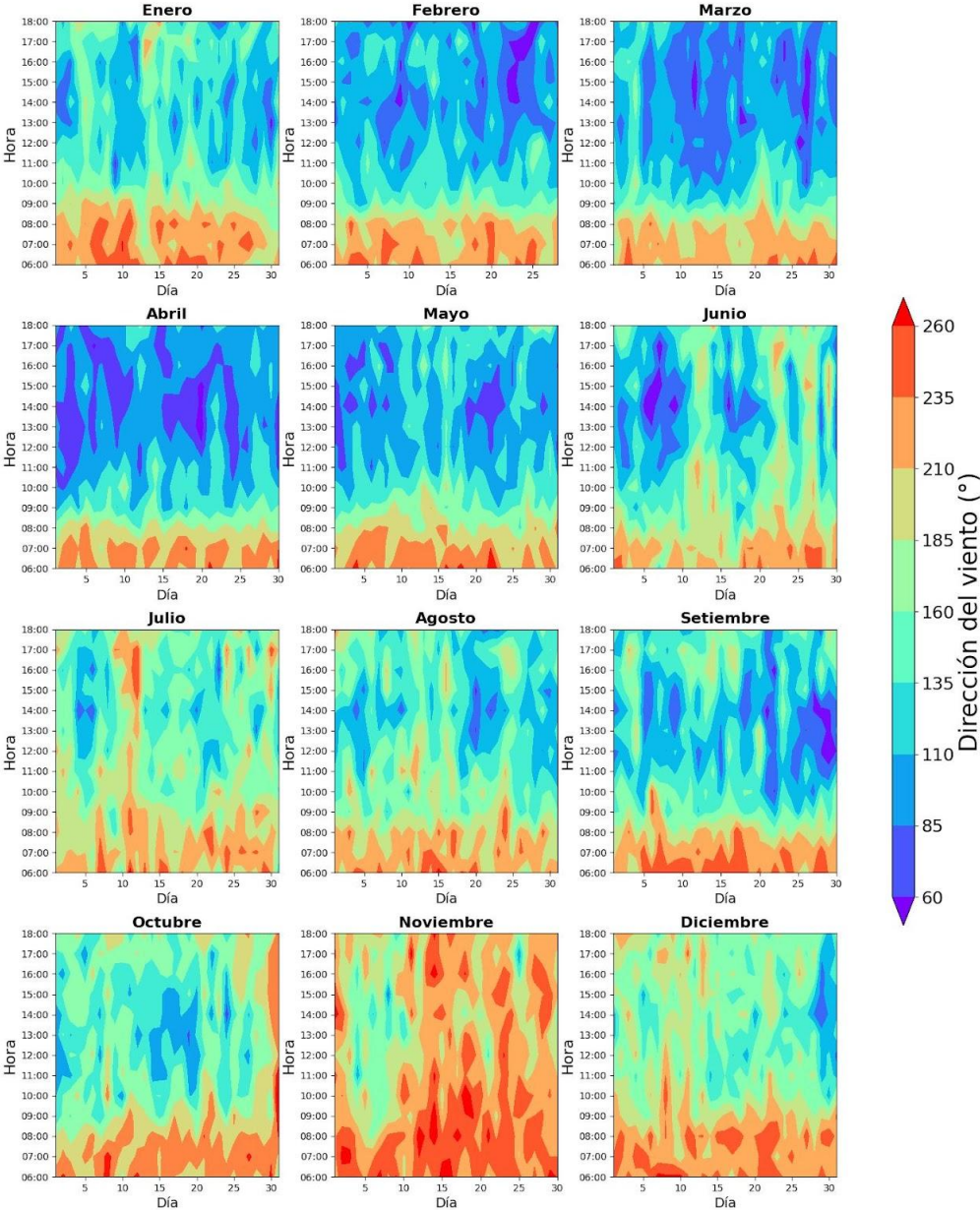


Figura 3. Dirección del viento en el AIL. Periodo: 2005-2024.

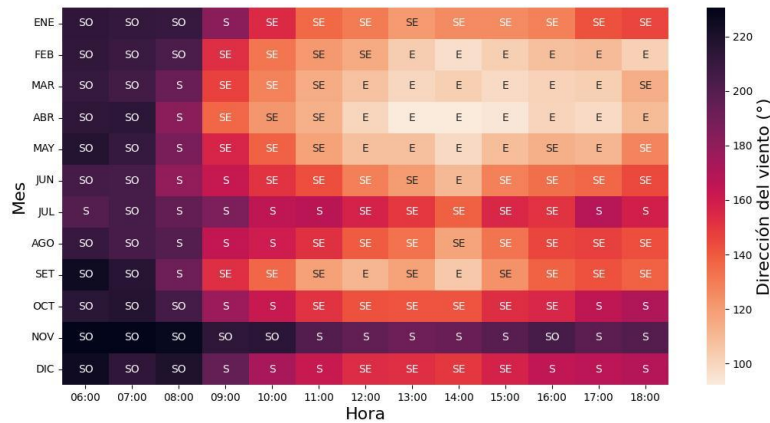


Figura 4. Mapa de calor de la dirección del viento durante el año

a.2) Ráfagas

El AIL no presenta gran cantidad de ráfagas durante el año, es posible notar en la gráfica que la cantidad es mínima y se da en el mes de diciembre (figura 5), alcanzando valores entre 20 y 29 kt.

Número de ocurrencias de ráfagas en el AIL

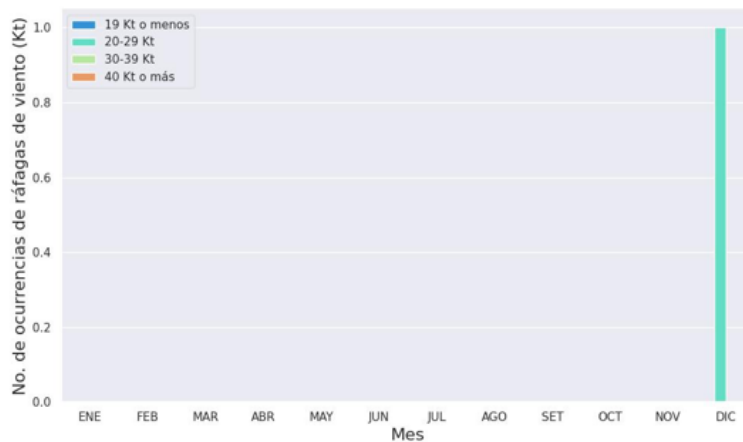


Figura 5. Ráfagas de viento en el AIL. Periodo: 2005-2024.

a.3) Velocidad del viento

En la figura 6 se ilustra el comportamiento de la magnitud de la velocidad del viento en el AIL, observándose que varía entre 2 y 10 kt a lo largo del día. Durante los meses de marzo

a mayo, se registra que en las mañanas la velocidad del viento oscila entre 2 y 5 kt, con un incremento hacia el final de la mañana. En las tardes, los vientos se encuentran en un rango de 5 a 9 kt, disminuyendo a aproximadamente 2 kt hacia el final del periodo.

Posteriormente, entre los meses de junio y agosto, el patrón de la velocidad del viento en la mañana se mantiene dentro del rango de 0 a 5 kt. Por otro lado, en las tardes, especialmente en junio, la velocidad del viento varía entre 5 y 8 kt, aunque ocasionalmente se registran valores superiores. En contraste, durante julio y agosto, los vientos vespertinos son ligeramente más intensos que en junio, alcanzando hasta 9 kt.

Durante los meses de septiembre y octubre, los vientos matutinos se mantienen mayoritariamente débiles. En noviembre, sin embargo, se evidencia una ligera intensificación de la velocidad del viento. En este periodo, se observa además un incremento en la magnitud de los vientos vespertinos, alcanzando los 9 kt con mayor frecuencia en comparación con los meses anteriores.

Finalmente, en los meses de diciembre, enero y febrero, se registra un cambio en el patrón vespertino, con vientos de menor intensidad en comparación con los meses descritos anteriormente, fluctuando entre 5 y 8 kt, con valores ocasionales de hasta 9 kt.

Esta descripción del comportamiento estacional de la velocidad del viento refleja variaciones notables en su intensidad y distribución a lo largo del año en el AIL.

Distribución horaria de la velocidad del viento por mes

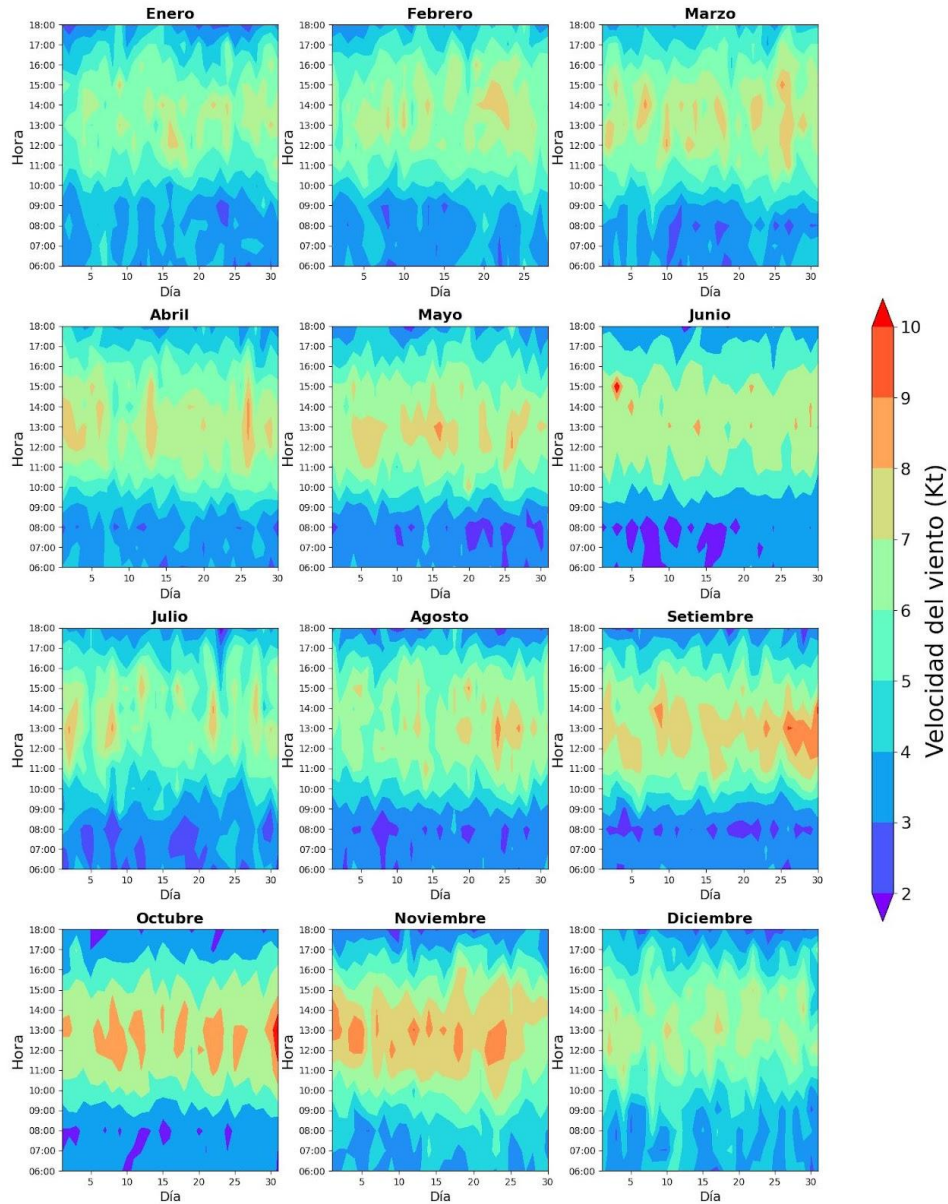


Figura 6. Magnitud del viento en el AIL. Periodo 2005-2024

b) Presión

La presión atmosférica desempeña un papel fundamental en la climatología aeronáutica, influyendo directamente en parámetros críticos como la altimetría y las condiciones de

vuelo. Este estudio analiza los patrones y tendencias de la presión atmosférica en el AIL, subrayando su relevancia en la seguridad y eficiencia de las operaciones de navegación aérea.

De acuerdo con los datos presentados en la figura 7, durante los meses de enero a marzo, se observa que la presión predominante se mantiene dentro de un rango de 29.92 a 30.00 inHg. En el periodo matutino (06:00-12:00), los valores son consistentemente más elevados, oscilando entre 29.96 y 30.00 inHg, lo que refleja estabilidad atmosférica. Por las tardes (12:00-17:00), se registra una ligera disminución, con rangos entre 29.92 y 29.96 inHg, aunque las presiones permanecen relativamente altas.

En el mes de abril, los valores de presión oscilan entre 29.78 y 29.96 inHg. Durante las mañanas (06:00-12:00), se presentan valores entre 29.88 y 29.96 inHg, mientras que en las tardes se observan rangos entre 29.78 y 29.88 inHg. Este comportamiento evidencia una tendencia a la disminución de la presión en comparación con los meses anteriores.

Durante mayo y junio, la presión atmosférica muestra un descenso adicional respecto a abril. En las mañanas, los valores se sitúan entre 29.86 y 29.90 inHg, mientras que por las tardes disminuyen aún más, oscilando entre 29.78 y 29.86 inHg.

En julio, se registra un incremento en la presión atmosférica, con valores generales que varían entre 29.80 y 29.96 inHg. En las mañanas, los rangos fluctúan entre 29.86 y 29.94 inHg, mientras que en las tardes se mantienen entre 29.80 y 29.86 inHg.

Durante el trimestre comprendido entre agosto, septiembre y octubre, las presiones predominantes oscilan entre 29.76 y 29.88 inHg. Las mañanas de agosto y septiembre presentan valores similares a los observados en julio, manteniéndose dentro del mismo rango. Sin embargo, en octubre se reportan valores ligeramente más bajos, entre 29.82 y 29.92 inHg. En las tardes de agosto a octubre, la presión fluctúa entre 29.76 y 29.86 inHg.

En los últimos dos meses del año, noviembre y diciembre, se aprecia un leve aumento en la presión atmosférica durante las mañanas, especialmente hacia finales de noviembre. Sin embargo, durante las tardes, se observa un descenso en comparación con los meses

anteriores, siendo esta tendencia más pronunciada en diciembre. Durante este mes, las mañanas presentan valores de presión que varían entre 29.88 y 29.98 inHg, mientras que por las tardes los rangos se sitúan entre 29.80 y 29.88 inHg.

Distribución horaria de la presión por mes

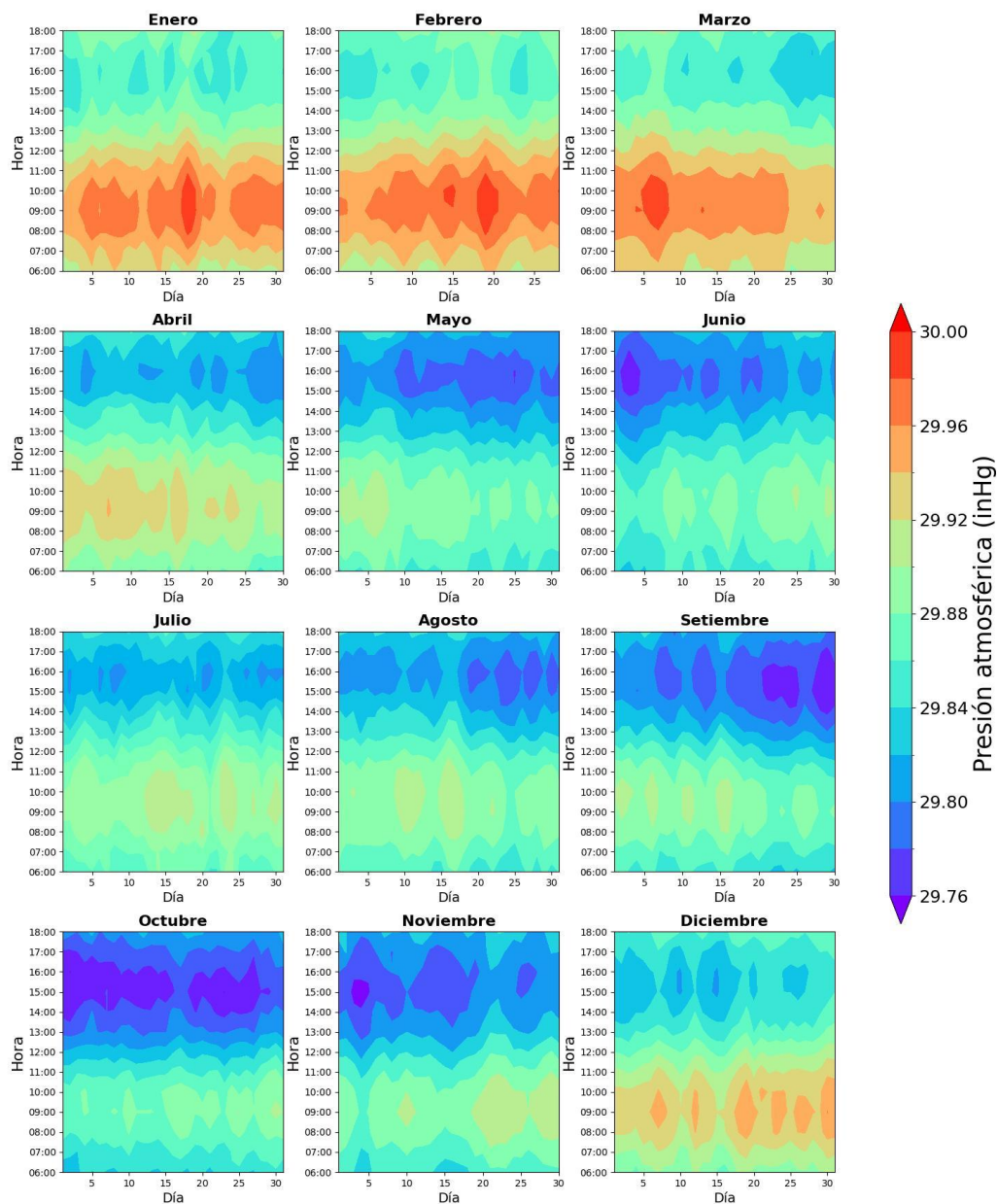


Figura 7. Presión atmosférica en el AIL. Periodo 2005-2024....

La figura 8 muestra el comportamiento horario de la presión atmosférica promedio durante el año, donde se puede identificar una variación diurna típica. A continuación, el patrón del análisis realizado.

Entre las 06:00 y las 10:00, se registra un aumento progresivo en la presión atmosférica, la cual, alcanza un máximo valor alrededor de las 9:00 En donde se refleja la estabilidad atmosférica característica de las primeras horas del día.

Desde las 9:00 hasta las 16:00, se observa un descenso continuo en la presión, que llega a su punto más bajo a las 16:00. Este comportamiento podría asociarse con el aumento de la actividad convectiva y la influencia del calentamiento diurno.

Al final de la tarde entre las 16:00 o 17:00, la presión comienza a aumentar de nuevo, hacia un retorno a las condiciones más estables conforme disminuye la influencia del calentamiento solar.

Este comportamiento puede estar asociado a la influencia de los ciclos térmicos diarios sobre la presión atmosférica. En donde es posible notar la estabilización de la capa límite atmosférica durante el periodo matutino y por las tardes el descenso vespertino asociado a la expansión y mezcla térmica a consecuencia del calentamiento solar. Al finalizar la tarde, se presenta una tendencia al aumento de la presión asociado al enfriamiento y contracción de la atmosfera superficial.

Promedio de la presión atmosférica horaria.

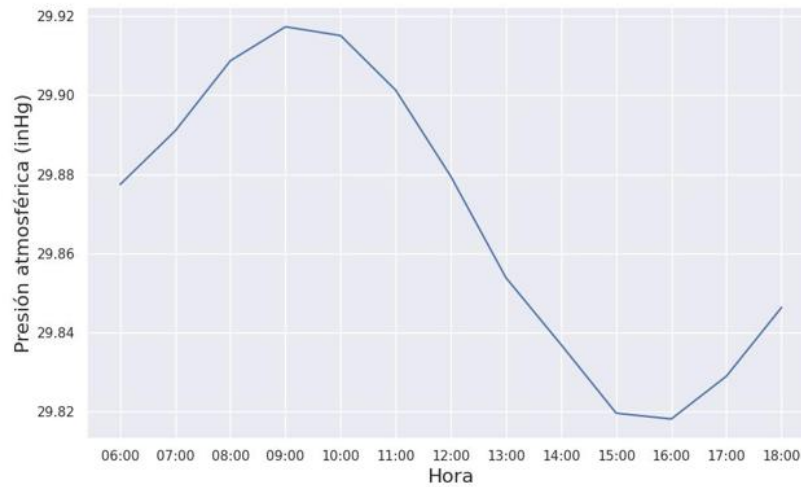


Figura 8. Comportamiento horario de la presión atmosférica.

En la figura 9, se puede observar claramente la variabilidad de la presión atmosférica a lo largo del año en el AIL. Se destaca que el valor máximo de la presión se presenta en el mes de febrero, lo que marca el inicio de un descenso gradual de los valores. Este descenso continúa durante los meses siguientes, alcanzando su primer mínimo en el mes de junio. A partir de ese momento, la presión atmosférica comienza a incrementarse, alcanzando un segundo máximo en julio. Sin embargo, esta tendencia ascendente no es permanente; a partir de julio, se experimenta nuevamente una disminución en los valores de la presión. Este descenso lleva a la presión a su segundo mínimo en octubre, después del cual comienza a observarse un aumento constante en los valores de la presión atmosférica, lo que sugiere una tendencia de estabilización o incremento hacia los últimos meses del año. Este patrón estacional en la presión atmosférica tiene implicaciones relevantes para la climatología aeronáutica, ya que puede influir en las condiciones de vuelo, la visibilidad y otros factores meteorológicos importantes para las operaciones aéreas en la región.

Presión atmosférica durante todos los meses del año

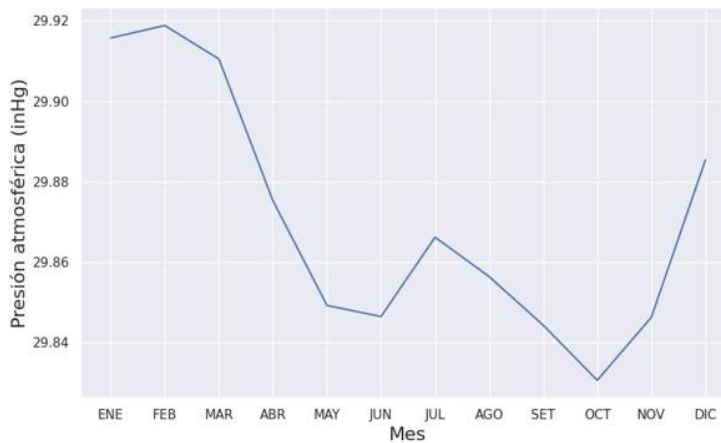


Figura 9. Tendencia de la presión atmosférica durante el año.

c) Temperatura

La distribución anual de la temperatura media exhibe un patrón bimodal. El primer máximo relativo ocurre en mayo, con un promedio de 28°C, mientras que el segundo, registrado en septiembre, supera este valor. En contraste, los mínimos relativos se presentan en enero, con un valor por debajo de los 26°C y en julio, con una temperatura aproximada de 27.3°C (figura 10).

Serie de tiempo anual para la temperatura (°C)

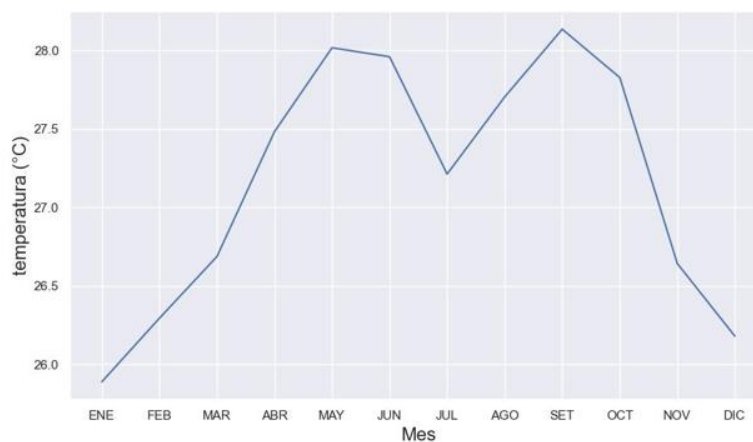


Figura 10. Variación de la temperatura mensual media (°C) para el AIL. Periodo: 2005-2024.

En cuanto a la variabilidad diaria, se observa que la temperatura máxima suele alcanzarse entre las 13:00 y 14:00 horas, mientras que la mínima se registra en torno a las 06:00, manteniendo este comportamiento a lo largo del año (figura 11). Comparando la variación mensual, las temperaturas mínimas más bajas se presentan en el primer trimestre del año (enero, febrero y marzo), con valores iguales o inferiores a 22°C. Por otro lado, las máximas más elevadas se registran entre abril y octubre, con una disminución relativa en julio. Es relevante señalar que a finales de septiembre las temperaturas máximas medias superan los 29°C, consolidándose como el mes con los valores de temperatura más altos del año.

Distribución diaria de la temperatura por mes (°C)

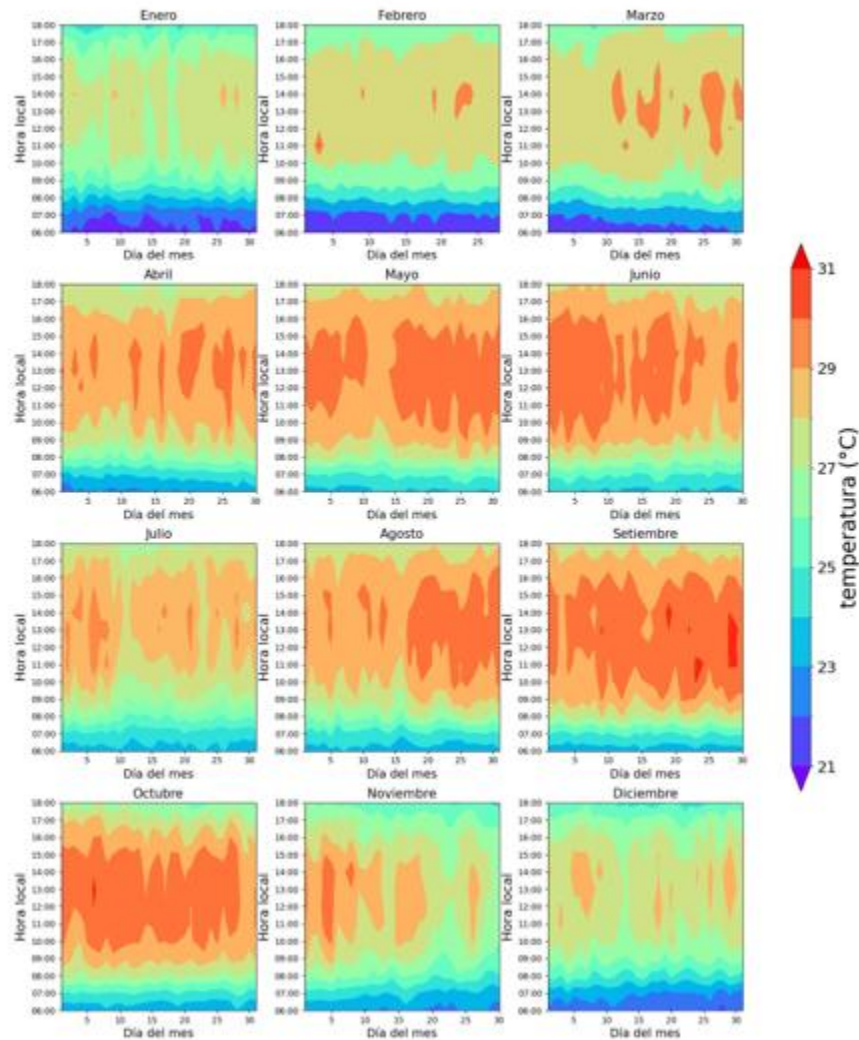


Figura 11. Comportamiento de la temperatura media horaria por mes para el AIL. Periodo: 2005-2024.

d) Temperatura de Rocío

La temperatura de rocío describe un patrón unimodal a lo largo del año (figura 12). Durante el invierno boreal, los valores más bajos se registran con temperaturas inferiores a 22°C. A partir de marzo aumenta progresivamente hasta alcanzar su máximo en junio (24°C). Posteriormente, entre julio y octubre, los valores se mantienen en un rango estrecho de 23.5°C a 24°C, para luego experimentar un descenso significativo de octubre a diciembre.



Figura 12. Variación de la temperatura de rocío mensual media (°C) para el AIL. Periodo: 2005-2024.

En cuanto a la variación horaria (figura 13), la temperatura de rocío presenta sus valores mínimos durante las primeras horas de la mañana, alrededor de las 06:00 horas, aumentando gradualmente hasta alcanzar su máximo en horas vespertinas. Sin embargo, este comportamiento varía según la época del año. Entre mediados de mayo y principios de noviembre, los valores máximos en la tarde oscilan entre 24°C y 26°C. En contraste, durante diciembre, enero, febrero y gran parte de marzo, la temperatura de rocío no supera los 24°C después de las 11:00 horas.

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

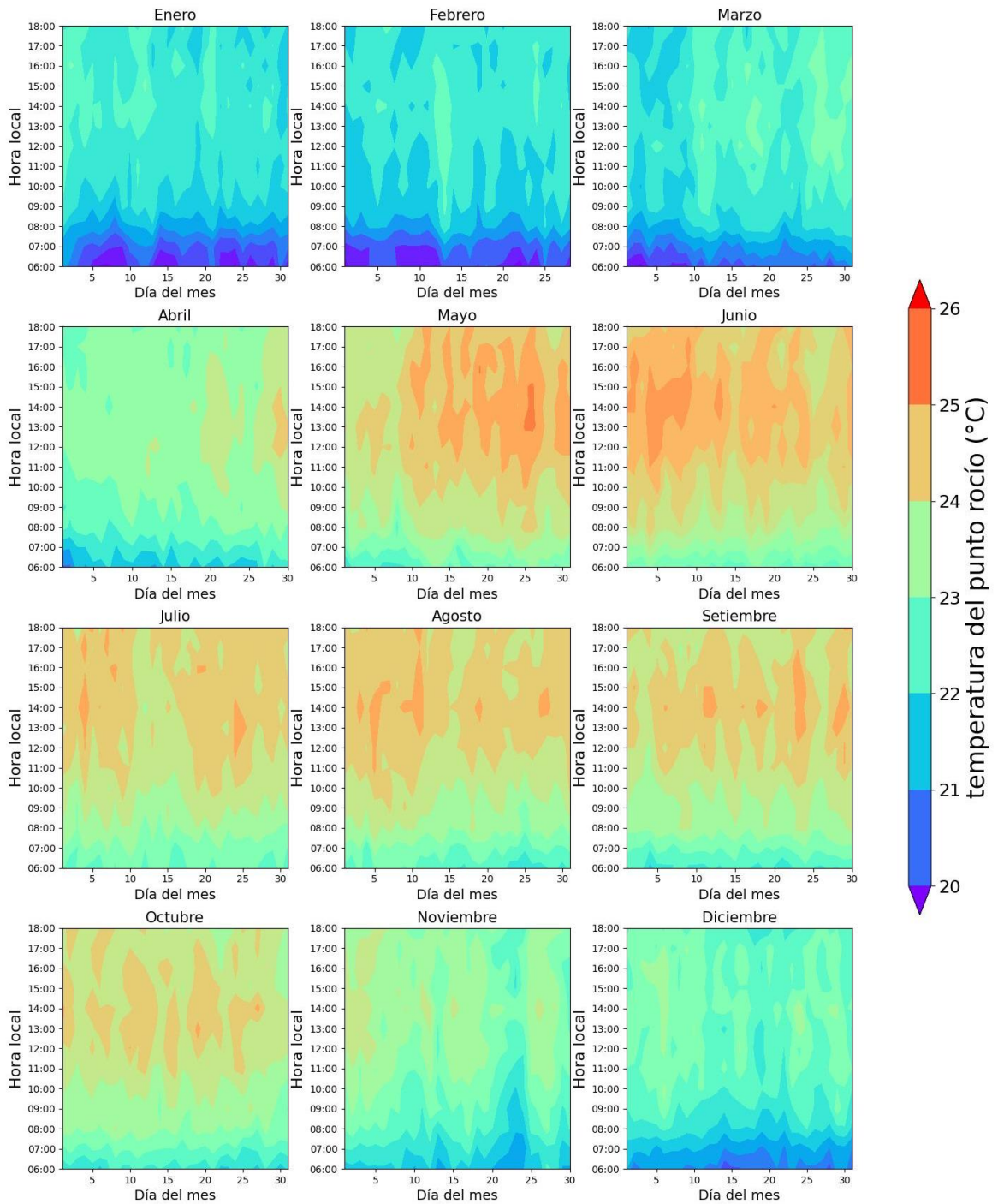


Figura 13. Comportamiento de la temperatura de rocío media horaria por mes para el AIL.

Periodo: 2005-2024.

e) Hidrometeoros y electrometeoros

La figura 14 muestra una gráfica con la distribución mensual de hidrometeoros como: llovizna (DZ), lluvia (RA), chubascos con lluvia (SHRA), tormentas con precipitación (TSRA) y además, tormentas sin precipitación. En esta sección, se presenta el análisis de cada uno de los fenómenos en el AIL.

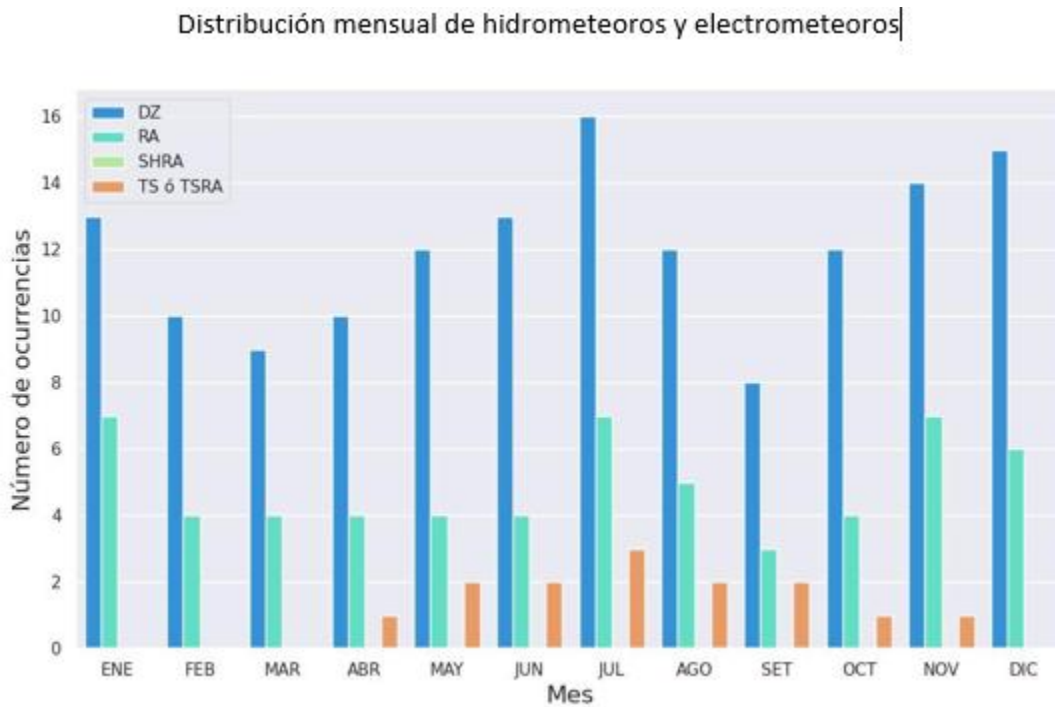


Figura 14. Distribución mensual de hidrometeoros y electrometeoros en el AIL. Periodo 2005-2024

La llovizna es el fenómeno más frecuente en el AIL, con la mayor cantidad de ocurrencias mensuales. Presenta valores de ocurrencias mayores en enero, junio, julio y diciembre, siendo estos dos últimos los máximos, con valores aproximados entre 15-16 eventos, lo cual, también es posible visualizarlo en la figura 15.

La alta frecuencia de llovizna podría estar relacionada con la advección constante de humedad causada por los vientos alisios del este-noreste, que predominan en esta región. Estos vientos transportan aire húmedo desde el Caribe hacia la superficie terrestre,

especialmente durante las noches y mañanas, cuando la brisa terrestre interactúa con el aire marítimo más cálido.

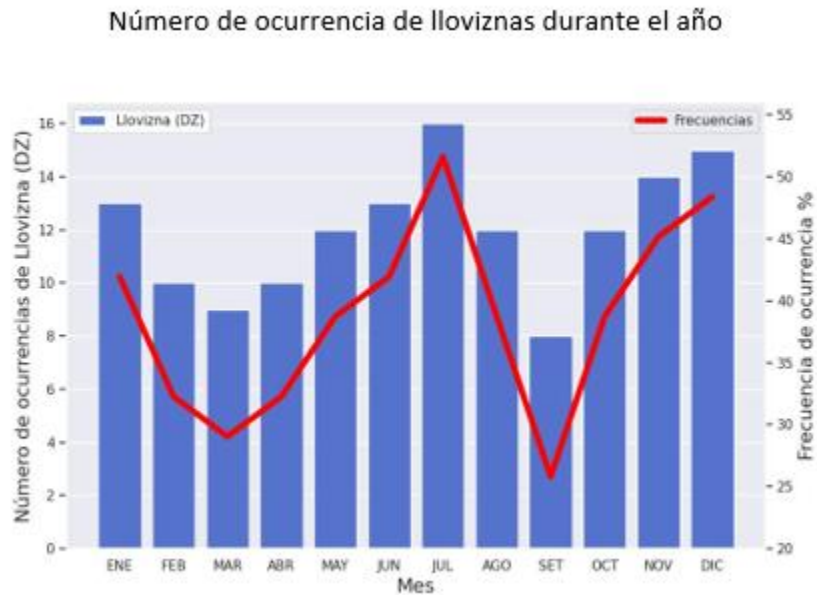


Figura 15. Número de ocurrencias de llovizna durante el año en AIL. Periodo 2005-2024.

Con respecto a la lluvia, es el hidrometeoro con menor frecuencia en comparación con la llovizna, sin embargo, presenta constancia durante todos los meses del año (figura 14 y 16). Enero, julio y noviembre destacan con mayor número de ocurrencias de este tipo de precipitación.

La lluvia es influenciada por el fortalecimiento del Jet de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ) en julio, lo que resulta en un máximo de precipitación acumulada. Este fenómeno coincide con la advección de humedad significativa desde el océano Atlántico, facilitando el desarrollo de lluvias continuas. Además, durante los meses invernales, los empujes fríos generan líneas de cortante que intensifican las lluvias al incrementar el arrastre de humedad hacia la región.

Número de ocurrencias de lluvia

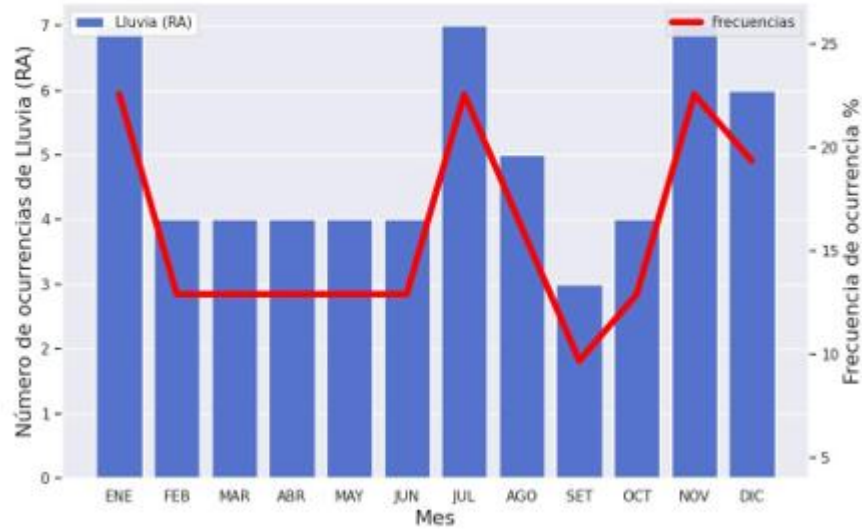


Figura 16. Número de ocurrencias de lluvia en AIL. Periodo 2005-2024.

En el caso de los chubascos con lluvia, es posible notar que no presenta valores significativos de ocurrencias (figura 14).

Las tormentas son fenómenos muy poco recurrentes en el AIL. Sin embargo, su ocurrencia no es nula, presentándose eventos de abril a noviembre, con mayor número de eventos en julio.

Al analizar la figura 17 con respecto al número de ocurrencias de lloviznas durante el periodo entre las 06:00 y 18:00 horas del día, es posible notar que las horas con mayor número de eventos van de 07:00 a 11:00.

Número de ocurrencias de llovizna de 06:00-18:00

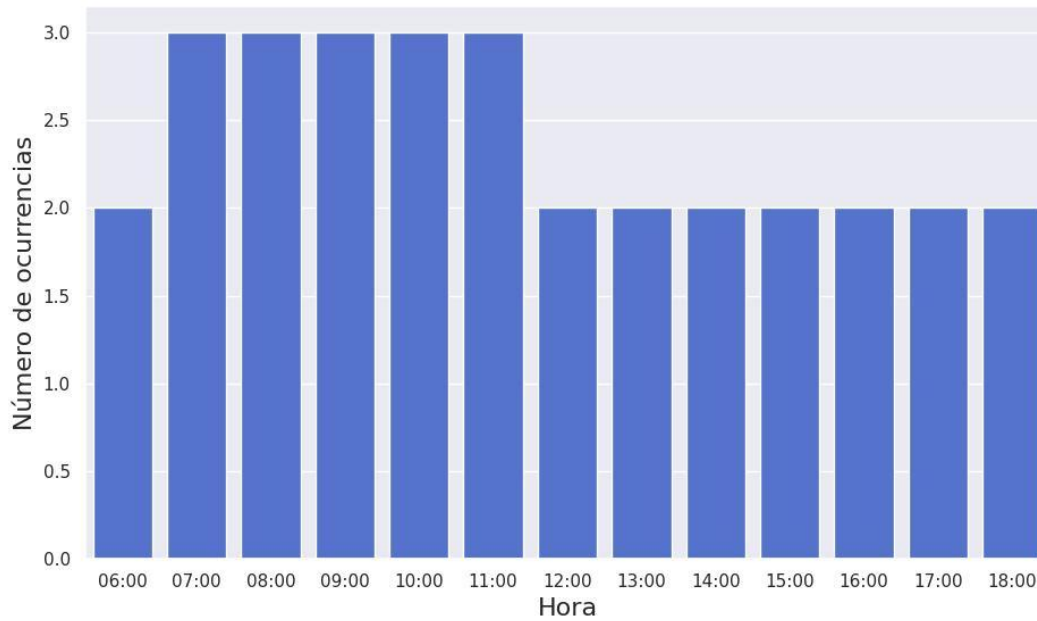


Figura 17. Número de ocurrencias de lloviznas durante el tiempo de operatividad de la OMA del AIL.

En el caso de la lluvia, se muestra en la figura 18 como durante las diferentes horas del periodo estudiado se mantiene el número de ocurrencias, sin embargo, las 14:00 y las 18:00 suelen ser los horarios con menor (nulo) número de eventos.

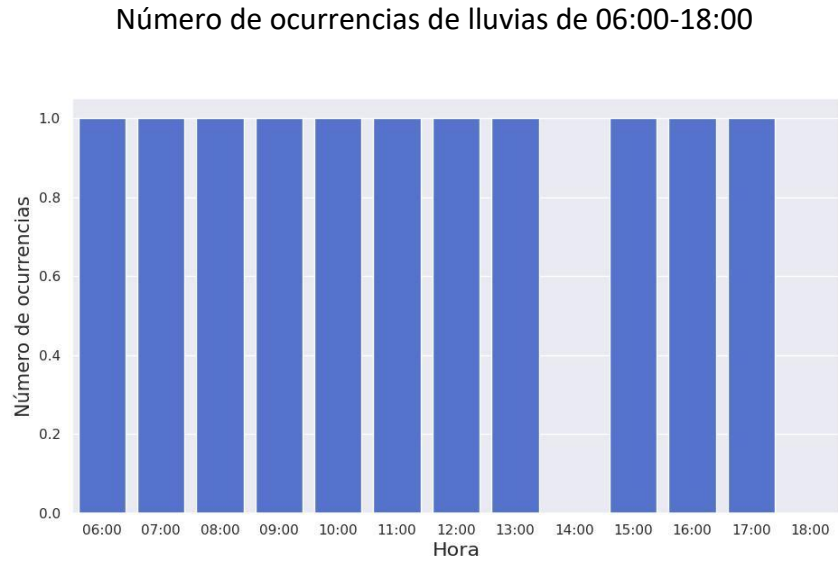


Figura 18. Número de ocurrencias de lluvias durante el tiempo de operatividad de la OMA del AIL.

En la figura 19 se muestra que el mayor número de ocurrencias de tormenta con o sin lluvia se generan en el mes de julio con al menos tres eventos.

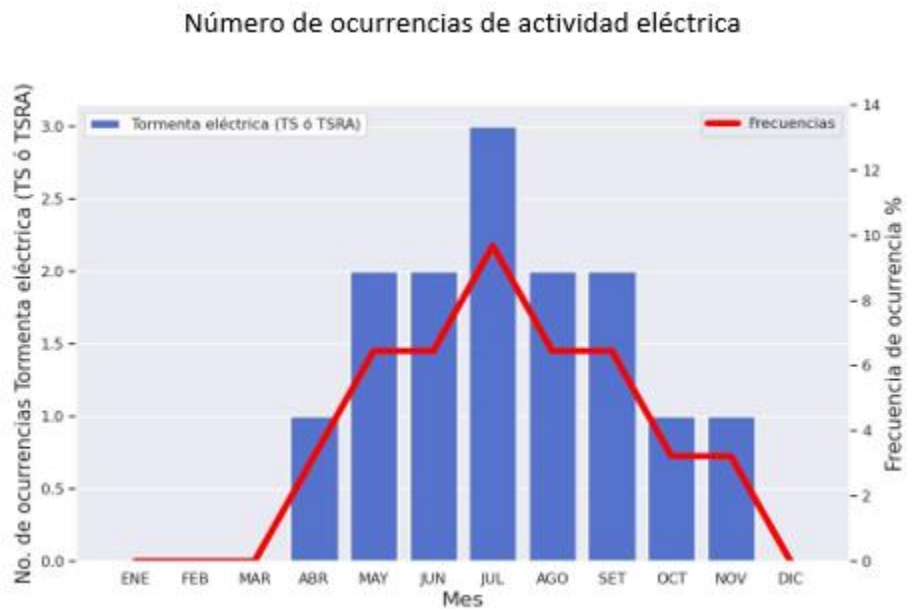


Figura 19. Número de ocurrencias de tormentas durante el tiempo de operatividad de la OMA del AIL.

f) Visibilidad Horizontal (< 5000 m)

La visibilidad horizontal es la distancia que determina un observador, sin la ayuda de instrumentos, a la que se encuentra un objeto en el plano horizontal. Este dato se debe de codificar en los METAR y SPECI en unidades de metros o kilómetros (OACI, 2018).

Los meses con mayor número de días en los que la visibilidad horizontal es inferior a 5000 m son noviembre, diciembre, enero y julio, con un promedio superior a 5 ocurrencias por mes (figura 20). Por otro lado, septiembre y octubre presentan la menor frecuencia de ocurrencia de estas condiciones, con menos de 2. Además, en el periodo que va de febrero a junio, más el mes de agosto, se observa que pueden presentarse esta condición de restricción de visibilidad, pero se mantienen entre 2 y 4 ocurrencias en promedio.

A escala horaria, la reducción de visibilidad se reporta con mayor frecuencia durante las mañanas y durante el periodo vespertino se observa una disminución de ocurrencias, especialmente entre las 14:00 y 15:00 horas, donde se observa un mínimo en la cantidad de reportes (figura 21).



Figura 20. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de visibilidad horizontal menor a 5000 m en el AIL. Periodo: 2005-2024.

Distribución horaria de ocurrencias de visibilidad <5000 m

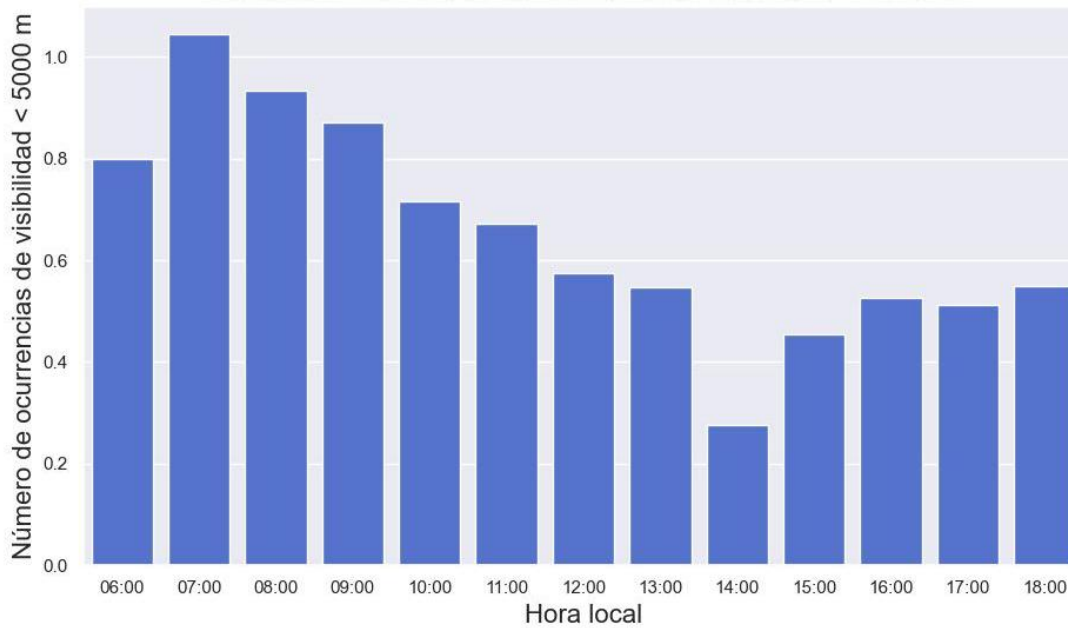


Figura 21. Valores horarios medios de reportes con visibilidad menor a 5000 m en el AIL.
Periodo: 2005-2024.

h) Techo de Nubes (< 1500 ft)

Los datos mostrados en esta sección se basaron en la altura y cobertura nubosa de importancia para las operaciones, según lo indicado en OACI (2018) y el RAC03 (2020), donde un techo de nubes se define como la condición que se observa cuando hay más de 5 octas de cielo cubierto, basado en una división del cielo en 8 octas totales.

Según la figura 22, los meses con mayor número de días en los que se reporta al menos un techo de nubes con base por debajo de 1500 ft son noviembre, diciembre, enero y julio, con un pico máximo en este último mes, alcanzando cerca de 9 días y una frecuencia de ocurrencia del 30%. En contraste, septiembre presenta el menor número de días con esta condición (2 días, con una frecuencia inferior al 10%), seguido de octubre.

Número de ocurrencias de presencia de techo.

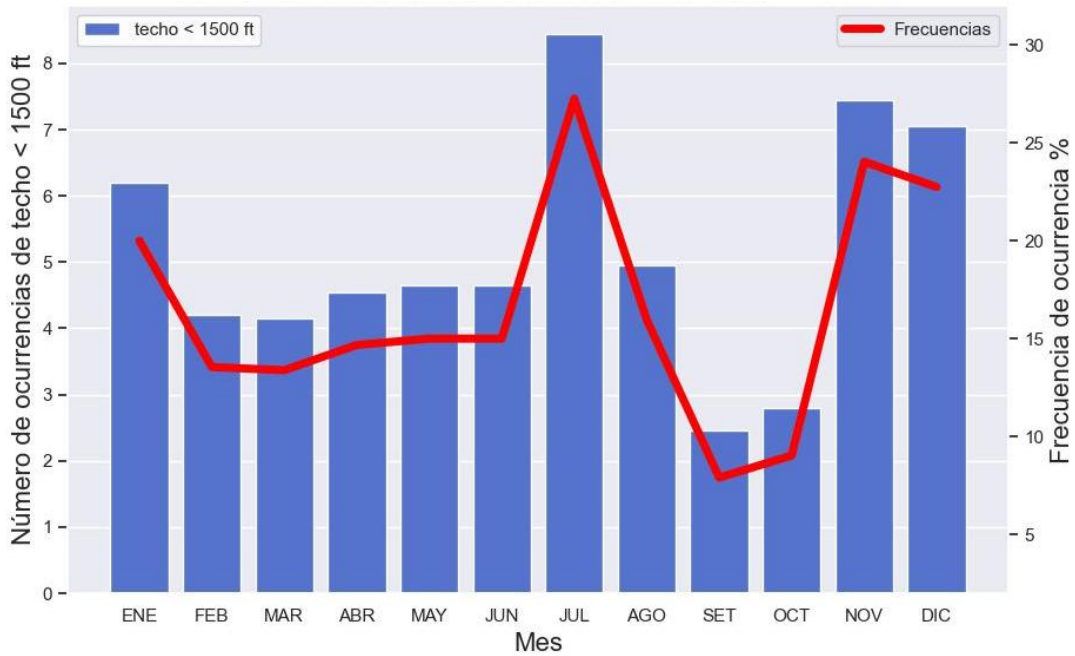


Figura 22. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de techo de nubes menor a 5000 m en el AIL. Periodo: 2005-2024.

A escala horaria (figura 23), la mayor frecuencia de techos nubosos por debajo de 1500 ft se registra a las 07:00 horas, con aproximadamente 13 ocurrencias. En horas de la tarde, estas condiciones son menos frecuentes, con un promedio menor a 4 ocurrencias y un mínimo entre las 14:00 y 15:00 horas. No obstante, sucede un pequeño aumento para finales de la tarde.

Número de ocurrencias por hora de techo

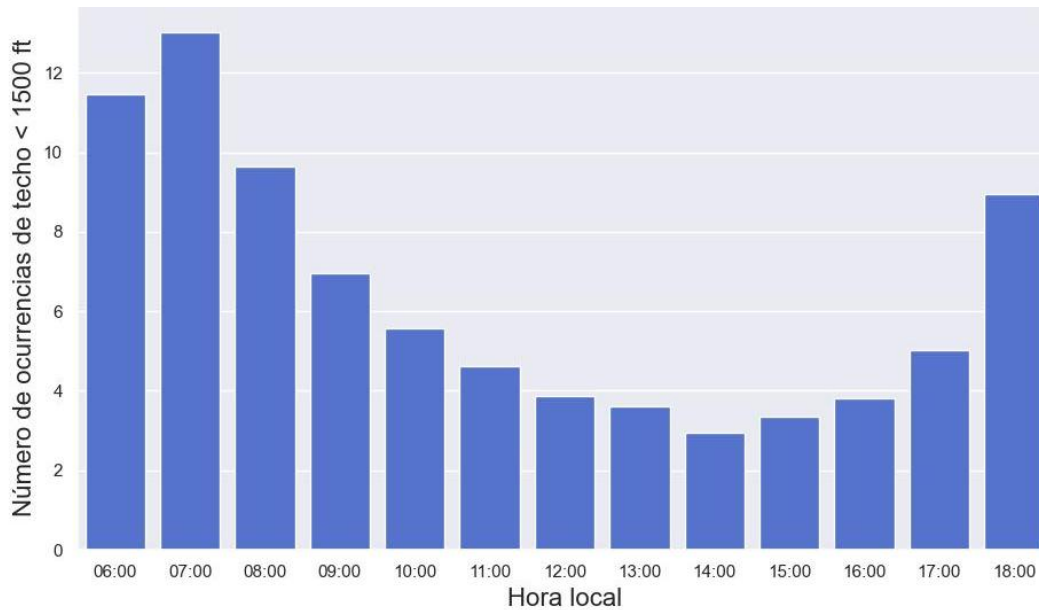


Figura 23. Valores horarios medios de reportes con techo de nubes menor a 5000 m en el AIL. Periodo: 2005-2024.

i) CAVOK

- Para el análisis de las condiciones CAVOK se utilizaron los reportes METAR y SPECI en los que se reporta dicha condición, la cual implica visibilidad horizontal igual o superior a 10 km, cielo libre de nubosidad operativamente significativa y ausencia de fenómenos meteorológicos relevantes para la aviación (OACI, 2018).

Según la figura 24, el periodo de marzo a julio presenta la menor cantidad de ocurrencias de CAVOK, con un mínimo en mayo. A partir de agosto, la ocurrencia de CAVOK aumenta, alcanzando un máximo en septiembre, con un promedio de 8 ocurrencias por mes. Este comportamiento concuerda con la menor frecuencia de reducciones de visibilidad horizontal y vertical en ese periodo. Posteriormente, en noviembre, se observa una leve disminución en la ocurrencia de condiciones CAVOK, seguida de un repunte durante el invierno boreal.

En términos de la variación a lo largo del día (figura 25), la mayor frecuencia de notificaciones CAVOK ocurre entre las 06:00 y 09:00 horas, con un pico máximo entre las 07:00 y 08:00 horas, donde el número de reportes supera las 10 ocurrencias.

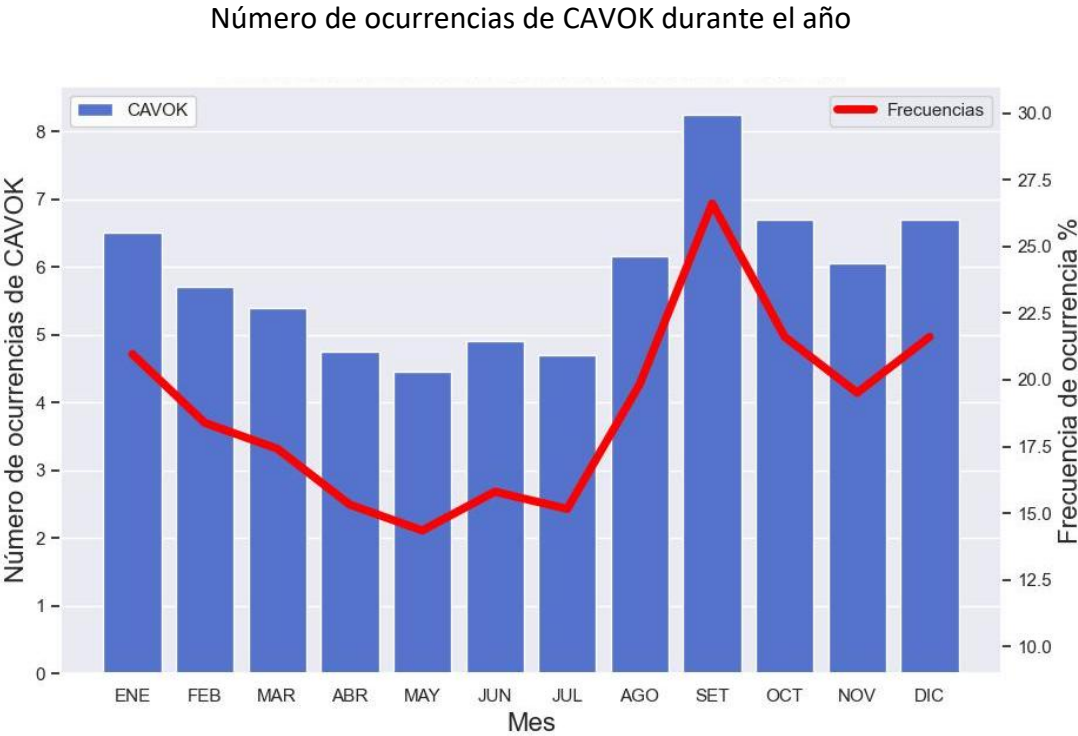


Figura 24. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de CAVOK en el AIL.
Periodo: 2005-2024.

Número de ocurrencias horarias de CAVOK

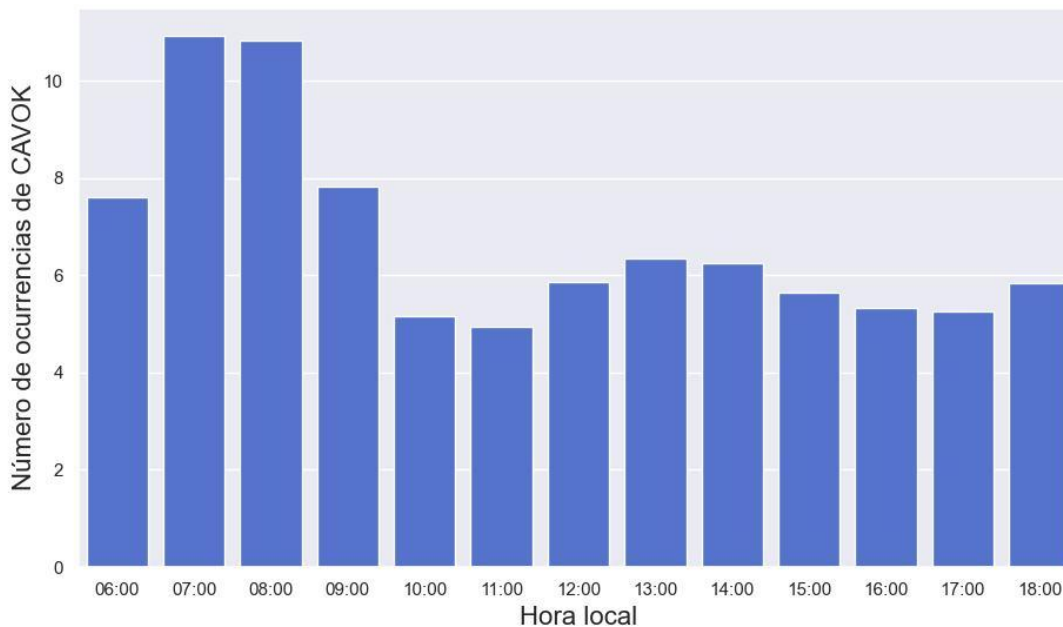


Figura 25. Valores horarios medios de reportes de CAVOK en el AIL. Periodo: 2005-2024.

4. CONCLUSIONES

El análisis de la climatología aeronáutica del AIL ha permitido identificar patrones estacionales y horarios en variables clave como el viento, la presión atmosférica, la temperatura, la visibilidad y la presencia de hidrometeoros, todos ellos de gran relevancia para la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas.

En primer lugar, se evidenció una variabilidad estacional y diurna en la dirección y magnitud del viento. Durante todo el año, en las primeras horas de la mañana predominan las componentes del suroeste-sur, mientras que por la tarde se observan variaciones específicas: entre febrero y mayo, predominan los vientos del este este, mientras que de junio a enero los del sur-sureste, aunque con algunas excepciones. En septiembre, se registra un mayor número de días con vientos del este, mientras que en noviembre prevalece la componente suroeste durante todo el día. En términos de magnitud del viento,

los valores oscilan entre 2 y 10 kt a lo largo del año, con la menor intensidad en las mañanas y un aumento durante el periodo vespertino.

En cuanto a la presión atmosférica, esta refleja una variabilidad estacional marcada por un ciclo bimodal, con máximos en febrero y julio y mínimos en junio y octubre. Además, su oscilación diaria sigue un patrón característico, alcanzando un pico matutino alrededor de las 09:00 y un mínimo entre las 15:00 y 16:00, comportamiento asociado al calentamiento diurno y la actividad convectiva.

En el análisis de la temperatura también se identifica un patrón bimodal, con máximos en mayo y septiembre (este último como el valor más alto del año) y mínimos en enero y julio. Su variabilidad diaria sigue el ciclo solar y el calentamiento progresivo del aire, con temperaturas máximas entre las 13:00 y 14:00 y mínimas cerca de las 06:00.

Por otro lado, en el comportamiento climatológico de los hidrometeoros se observó que la llovizna es el fenómeno más frecuente en el AIL, con mayor incidencia en diciembre, enero, junio y julio, mientras que la lluvia presenta un patrón constante a lo largo del año, con picos máximos en enero, julio y noviembre. La tormenta es poco frecuente, pero su mayor incidencia ocurre entre mayo y septiembre, con un máximo en julio.

Respecto a esto, los meses con mayor número de días de visibilidad reducida y techos de nubes bajos son noviembre, diciembre, enero y julio, con valores mínimos en septiembre. La visibilidad menor a 5000 m y los techos de nubosidad por debajo de los 1500 ft son más frecuente durante las mañanas y presentan un mínimo durante las tardes.

Asociado a esto, pero con un comportamiento estacional casi opuesto, la condición de tipo CAVOK tiene menor frecuencia entre marzo y julio, con un mínimo en mayo. A partir de agosto, la ocurrencia de CAVOK aumenta, alcanzando un máximo en septiembre, en correspondencia con una menor incidencia de eventos de visibilidad reducida y de tiempo presente. Sin embargo, en términos del comportamiento diario, el periodo matutino es cuando se presentan más ocurrencia de condiciones CAVOK, similar a la ocurrencia de techos de nubosidad baja en el aeródromo.

Los resultados de este estudio podrían constituir una herramienta útil para respaldar la planificación y gestión de las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional de Limón. La identificación de patrones estacionales y horarios en variables como el viento, la presión atmosférica, la visibilidad y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos permite anticipar condiciones que podrían afectar la seguridad y eficiencia operativa. En este contexto, la incorporación de esta información en la toma de decisiones estratégicas podría favorecer la optimización de configuraciones de pista, la asignación de niveles de vuelo y la implementación de medidas preventivas frente a condiciones adversas, contribuyendo así al fortalecimiento de la seguridad operacional en el aeródromo.

5. REFERENCIAS

- Alfaro, E., Pérez-Briceño, P. M., y Facio, R. (2014). Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, América Central, originados en los mares circundantes. *Revista de Climatología*, 14, 1-11
- Alfaro Martínez, E. J., Alvarado Gamboa, L. F., Fallas López, B. G., Mora Sandí, N. P., y Hidalgo, H. G. (2024). Caracterización climática y análisis de mecanismos moduladores del descenso de las lluvias en la vertiente Caribe de América Central durante septiembre-octubre. *Revista de Ciencias Ambientales*, 58(1).
- Amador, J. A., Alfaro, E. J., Hidalgo, H. G., Soley, F. J., Solano, F., Vargas, J. L., Sáenz, F., Calderón, B., Pérez, P. M., Vargas, J. J., Díaz, R. E., Goebel, W. A., Montero, A., Rodríguez, J., Salazar, A. J., Ureña, P., Mora, N. P., Rivera, I., Vega, C. y Bojorge, C. (2013). Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera. *Informe Final del Proyecto VI-805-B0-402. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Vicerrectoría de Investigación y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica y Corporación Bananera Nacional (CORBANA), Setiembre.*
- 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.

- 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.
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J., y Zárata, E. (2016). Eventos extremos de lluvia ocasionados por empujes fríos que han llegado a costa rica en el periodo invernal (NDEF) del año 2000 al 2010: Líneas de cortante. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 48-62.
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J., y Zárata, E. (2017). Análisis sinóptico de casos de eventos extremos de lluvia asociados a líneas de cortante de empujes fríos que han llegado a Costa Rica en el periodo invernal. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 16(2), 5-18.
- Dirección General de Aviación Civil. (2012). Manual de Servicios y facilidades en los aeropuertos internacionales y aeródromos locales de Costa Rica. <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2017/05/Manual-de-Servicios-Aeroportuarios-MAYO-2012.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil. (28 de diciembre, 2023). Aeronautical Information Publication. AD 2 Aeródromos. MRLM-LIMON INTL. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. https://www.cocesna.org/aipca/AIPMR/AIP_2301/Eurocontrol/COSTA%20RICA/2023-12-28-AIRAC/html/index-es-ES.html
- Durán-Quesada, A. M. (2012). Sources of moisture for Central America and transport based on a Lagrangian approach: variability, contributions to precipitation and transport mechanisms. *Unpublished. Ph. D. Thesis, University of Vigo, Vigo, Spain.*
- Durán-Quesada, A. M., Gimeno, L., y Amador, J. (2017). Role of moisture transport for Central American precipitation. *Earth System Dynamics*, 8, 1-15.
- EAS, Barcelona. (21 de abril, 2023). Códigos de los aeropuertos que debes conocer. European Aviation School, Barcelona. Accesado: 16 de marzo, 2024. <https://easbcn.com/codigos-de-los-aeropuertos-que-debes-conocer/>

- Garro Molina, D., Campos Zúñiga, P., Mora Perez, A., Salazar Víquez, R. (2024). Climatología Aeronáutica 2005-2023. Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. *Instituto Meteorológico Nacional*.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). Clima en Costa Rica. Vertiente Caribe. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/clima-en-costa-rica>
- Manso, P., Stolz, W., & Fallas, J. C. (2005). El régimen de la precipitación en Costa Rica. *Rev. Ambientico*, 144, 7-8.
- Muñoz, A. C., Fernández, W., Gutiérrez, J. A., y Zárate, E. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(1), 1-13.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). Anexo 3: Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea Internacional. Quebec, Canadá.
- Orozco Montoya, R. (2023). Variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia de eventos extremos de precipitación en la región tropical húmeda del Caribe de Costa Rica, Centroamérica. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7449_OrozcoMontoya.pdf
- Pérez Briceño, P. M., Amador Astúa, J. A., y Alfaro Martínez, E. J. (2013). Clasificación climática para la vertiente caribe costarricense. *Memorias del VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Costa Rica. 11-15 de noviembre de 2013.
- Poleo, D. (2016). ¿Cambio climático o variabilidad climática? Historia, ciencia y política en el clima mesoamericano. *Revista de Ciencias Ambientales*, 50(1), 24-39.
- Poleo Brito, D., Solano León, E., y Stolz España, W. (2014). La Oscilación atmosférica Madden-Julian (MJO) y las lluvias en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 13 (1), 58-74.

Reglamento de Servicio meteorológico para la navegación aérea. Decreto Ejecutivo N.º 42678. 19 de noviembre 2020.

Waylen, P. R., Quesada, M. E., & Caviedes, C. N. (1996a). Temporal and spatial variability of annual precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(2), 173-193.

Waylen, P. R., Caviedes, C. N., & Quesada, M. E. (1996b). Interannual variability of monthly precipitation in Costa Rica. *Journal of Climate*, 9(10), 2606-2613.