

Climatología Aeronáutica 2005-2023

Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños Palma

Adriana M. Mora Pérez¹, Diego Garro Molina², Paula Campos Zúñiga³, Raquel Salazar Víquez³

Resumen

En este documento se presenta la climatología del Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños Palma para el periodo 2005-2023. Se toman los datos incluidos en los Reportes Meteorológicos de Aeródromo (METAR) desde las 12:00UTC a las 00:00UTC (periodo de operatividad del aeropuerto), los cuales se registran a partir de las observaciones realizadas por los funcionarios de la Oficina de Meteorología Aeronáutica del AITBP y las Estaciones Meteorológicas Automáticas instaladas en el aeródromo. Según su ubicación, el AITBP pertenece a la región climática del Valle Central de Costa Rica, por lo que presenta una estación seca bien definida. La información presentada a continuación facilita la toma de decisiones operativas y económicas por parte de los usuarios de meteorología aeronáutica y permite el cumplimiento de lo establecido en el Anexo 3 y RAC03.

PALABRAS CLAVES: Climatología, Aeronáutica, AITBP, MRPV, SYQ, METAR.

Abstract

This document provides the climatological data of Tobías Bolaños Palma International Airport spanning for the period 2005-2023. The data, sourced from Aerodrome Meteorological Reports (METAR), is collected between 12:00UTC and 00:00UTC, corresponding to the airport's operational hours. These reports are derived from observations conducted by officials of the Meteorological Office Aeronautics and Automatic Meteorological Stations situated at the aerodrome. Located within the climatic region of the Central Valley of Costa Rica, AITBP experiences a well-defined dry season. This information streamlines the decision-making process for operational and economic matters by the relevant airport authorities and ensures adherence to the regulations stipulated in Annex 3 and RAC03.

KEY WORDS: Climatology, Aeronautical, AITBP, MRPV, SYQ, METAR.

1. INTRODUCCIÓN

El Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños Palma (AITBP) fue creado como sustituto del primer aeropuerto internacional del país, llamado La Sabana (Rodríguez Chaves, 2015). Este último fue puesto en funcionamiento en 1940 y se encontraba ubicado en el distrito Mata Redonda en el

cantón de San José; funcionó como centro de operaciones y soporte de aeronaves pequeñas (Rodríguez Chaves, 2015). Sin embargo, el terreno donde se encontraba ubicado el Aeropuerto Internacional La Sabana, fue donado por el Padre Chapuí para uso de pastoreo de animales y espacio de recreación para los sectores más pobres del país, además, el argumento de que el funcionamiento de este aeropuerto

¹ Pronosticadora Aeronáutica. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional. Autora principal. Email: amora@imn.ac.cr

² Pronosticador Aeronáutico. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional. Colaborador. Email: dgarro@imn.ac.cr

³ Observadora Aeronáutica / Pronosticadora Aeronáutica. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional Revisión. Email: pcampos@imn.ac.cr / rsalazar@imn.ac.cr

representaría un peligro para los vecinos y visitantes del lugar, causó la necesidad de buscar otro terreno cercano a la capital para sustituir a este aeródromo (Rodríguez Chaves, 2015).

El AITBP fue inaugurado el 21 de diciembre de 1975 (Stolz et al., 2012). Tiene la capacidad de recibir aeronaves de pequeñas dimensiones (Rodríguez Chaves, 2015) y recibe operaciones de vuelos privados, fleteados, turísticos y escuelas de aviación (Dirección General de Aviación Civil [DGAC], 2022).

Según la DGAC (2023b) entre el año 2018 y 2022, el AITBP fue el segundo aeropuerto más transitado en el país con más de 57000 vuelos anuales que operaron en dicho aeródromo, de los cuales cerca de 12000 vuelos anuales corresponden a escuelas de aviación.

El identificador de lugar asignado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) corresponde a MRPV, mientras que la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) asignó las siglas SYQ (Chaves-Hidalgo, 2018).

La Administración de Aviación Civil es el ente encargado de las instalaciones aeroportuarias (Garro et al., 2022). El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) es el encargado de brindar el servicio meteorológico aeronáutico requerido para las operaciones y seguridad desde el año 1975 (Stolz et al., 2012). El registro de la primera climatología para el AITBP data del 2012, donde personal del IMN analiza el comportamiento de las variables para el periodo 2000-2010 (Chinchilla et al., 2012).

En el Plan de Atención de Emergencias Aéreas y Atención de Contingencias del AITBP de la DGAC (2013) se agrupan los riesgos que pueden afectar las operaciones en tres tipos: humanos, técnicos y tecnológicos, y, por último, los naturales, que están asociados a causas naturales en los que no hay intervención directa del ser

humano, como es el caso de los fenómenos meteorológicos. A raíz de esto, se establecen las alertas acorde al riesgo. Es de especial interés las alertas de tipo 1, las cuales se deben a condiciones meteorológicas desfavorables cuando (DGAC, 2013; Chaves, 2018):

- La visibilidad reinante sea inferior a 5 km.
- La base de la capa de nubes sea inferior a 300 m.
- La maniobra de despegue y aterrizaje no pueda ser observada debidamente por Torre de Control.
- Se presenta cualquier condición meteorológica que dificulte las maniobras de despegue o aterrizaje.

1.1 Operatividad del Aeropuerto

El aeropuerto opera entre las 12:00 UTC (6:00 TL) y las 23:59 UTC (17:59 TL), (DGAC, 2023a). El tránsito permitido es exclusivamente para vuelos en condiciones visuales (DGAC, 2021). Los mínimos meteorológicos operativos se encuentran en la tabla 1, estos aplican para la cabecera 10 y 28.

Tabla 1. Mínimos meteorológicos para el AITBP (DGAC, 2021)

Vuelo	Visibilidad (m)	Techo (ft)
Visuales	5000	1500
Visuales helicóptero	800	500
Visuales ultraligero	4800	1000

1.2 Pista de aterrizaje

La pista de aterrizaje mide 1600 m de largo y 23 m de ancho, con orientación es de este a oeste (DGAC, 2013). La cabecera del sector oeste se denomina "10" y el sector este "28" (DGAC, 2023a), las cuales presentan una elevación máxima de 978 msnm y 994 msnm respectivamente (Stolz et al., 2012).

1.3 Descripción Geográfica y Climatológica

El AITBP se localiza en el distrito de Pavas, San José a 8 km al noroeste de la capital, las coordenadas geográficas corresponden a 0.95725.70441N, 0840822.41738W (WGS84) (DGAC, 2022; Garro et al., 2022). En la figura 1 se presenta la carta de

visibilidad del AITBP con puntos de referencia a 10 km de radio.

El aeródromo se encuentra a una altitud de 1002 msnm y se ubica entre volcanes y cerros que componen la Cordillera Volcánica Central y los pasos que se forma entre estos, los cuales se muestran en la figura 2.

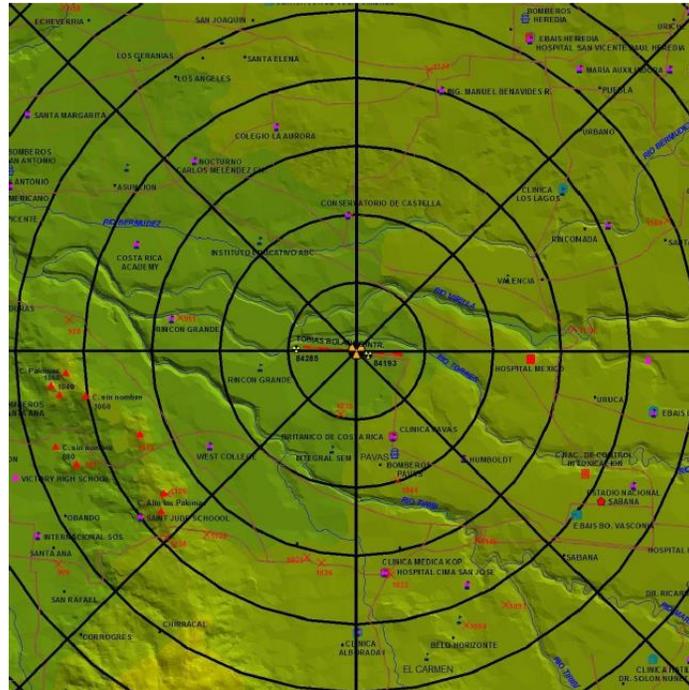


Figura 1. Carta de visibilidad del AITBP con puntos de referencia a 10 km de radio y cada circunferencia corresponde a un radio de 1km. Escala 1:45000 (Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas, 2017).

1.3 Climatología región de Valle Central

Debido a la orientación de sistema montañoso, Costa Rica se encuentra dividido en dos vertientes (Pacífico y Caribe) las cuales presenten características de precipitaciones y viento anuales diferentes, debido a que la forma en que modulan los sistemas sinópticos varía según la vertiente en que se encuentren (Mora, 2020). Debido a esto, el país se puede dividir en 7 regiones climáticas (IMN, 2008). El AITBP se encuentra ubicado en la región climática del

Valle Central, la cual presenta características de las condiciones meteorológicas típicas del Pacífico y del Caribe, es decir, es afectada tanto por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y los vientos ecuatoriales, como por los vientos alisios del noreste, derrame de nubosidad y lluvias débiles (Solano y Villalobos, 2001). Esta región se puede dividir en dos subregiones, la Oriental y Occidental, localizándose el AITBP en esta última. Se caracteriza por presentar dos estaciones: la estación seca entre diciembre y marzo y la lluviosa entre mayo y octubre, abril y noviembre son meses

de transición. Así mismo, se presentan dos periodos con disminución en las precipitaciones, uno a finales de junio al que se le conoce como veranillo de San Juan, y otro entre julio y agosto conocido como canícula (IMN, 2008). En la época seca y durante el veranillo se presenta predominio de viento alisio durante todo el día, favorecidas por la influencia de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés; Amador, 2016) y la línea de cortante de los sistemas frontales (Chinchilla et al., 2016), mientras que en la época lluviosa en las mañanas se presenta viento calmo o débil y en las tardes se presenta viento del oeste (IMN, 2008). Con respecto a las temperaturas en la región se reportan valores máximos entre marzo y abril (IMN, 2008).

Según Ugalde (2022), el inicio de la época lluviosa está ligado al gradiente de temperatura entre el Atlántico y el Pacífico Ecuatorial, donde un calentamiento del Atlántico respecto al Pacífico Ecuatorial favorece a inicios de la época lluviosa más tempranos y su finalización más tardía, lo que provoca que la duración de este sea más extensa. Las diferencias de temperaturas son favorecidas por fenómenos de variabilidad climática como la Oscilación Multidecadal del Atlántico y el Niño Oscilación del Sur. Esta misma condición (época lluviosa más extensa) se favorece cuando la CLLJ es más débil, lo cual puede estar ligado con el movimiento latitudinal de la ZCIT, dado que la variabilidad en su posición es modulada por el viento alisio y la temperatura superficial del mar (Saénz y Amador, 2016).

Fenómenos sinópticos como los ciclones tropicales afectan la variabilidad anual en las condiciones atmosféricas de Costa Rica (Hidalgo et al., 2020). La temporada de ciclones tropicales abarca desde el 1 de junio hasta el 31 de noviembre de cada año. La

posición de estos respecto al istmo centroamericano puede provocar gran número de impactos indirectos en la vertiente del Pacífico de Centroamérica, donde zonas como el Golfo de Honduras (cuenca del Caribe) y frente a la costa del Pacífico de Nicaragua y Costa Rica se identifican como regiones críticas donde la ubicación de tormentas tropicales (incluso de débil intensidad) pueden tener impactos destructivos en país (Hidalgo et al., 2020).

Los empujes fríos también modulan las condiciones del país, con su principal afectación durante los meses de invierno boreal (de diciembre a marzo; Chinchilla et al., 2017). Estos son sistemas de frecuencia estacional que están compuestos de varios elementos atmosférico que presentan características propias que se relacionan entre sí (Chinchilla et al., 2017). Los frentes fríos componen a estos sistemas y corresponden a áreas de transición entre dos masas de aire de diferente densidad (Chinchilla et al., 2017). Por otra parte, la línea de cortante se asocia a los cambios de viento, donde ocurre la confluencia direccional al final del frente (Chinchilla et al., 2016). Estos fenómenos pueden producir eventos extremos de precipitación en Costa Rica (Chinchilla et al., 2017), además de favorecer un aumento en la velocidad del viento (IMN, s.f.a).

Otro factor que influye en la variabilidad de las precipitaciones en Costa Rica es la Oscilación Madden Julian, la cual modula la temporada de huracanes en el Atlántico Norte. Según Poleo-Brito et al. (2014), esta oscilación “es el modo predominante de la variabilidad intraestacional en los trópicos a escala planetaria”. Es una oscilación de alta frecuencia, con periodos de 30-90 días (Poleo- Brito et al., 2014). Presenta 8 fases, donde las fases 4, 5 y 6 favorecen la cantidad de días con precipitación en la región del Caribe y que en el Pacífico la cantidad de

días de eventos extremos de precipitación es menor; mientras que sucede lo contrario en las fases 1, 2 y 8 (Poleo- Brito et al., 2014). Con respecto a su amplitud, se presentan menor cantidad de eventos extremos cuando presenta valores menores a 1 (Poleo- Brito et al., 2014).

2. METODOLOGÍA

Según se indica en el Anexo 3 de la Organización de Aviación Civil Internacional [OACI] (2018) y el Reglamento de Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2020): “La información climatológica aeronáutica debería basarse normalmente en observaciones efectuadas a lo largo de un periodo de cinco años como mínimo...”, por lo tanto, el análisis realizado abarca los años 2005 al 2023 inclusive, en el horario 12:00UTC a 00:00UTC, que corresponde al periodo de emisión de los reportes meteorológicos de aeródromo (METAR) por parte de la Oficina de Meteorología Aeronáutica, a partir de los cuales se extraen los datos de análisis, que corresponden a:

1. Dirección, velocidad y ráfaga del viento.
2. Visibilidad.
3. Fenómenos de tiempo presente, según el inciso RAC-03.275 del RAC03.
4. Altura de la base de la nubosidad y cantidad.
5. Temperatura.
6. Temperatura de punto de rocío.
7. Presión atmosférica.

Los datos de fueron tomados del documento de hojas climatológicos MET1, donde se almacenan los valores de las variables que se incluyen en los reportes METAR. Estos archivos fueron revisados por medio de una comparación con los informes METAR publicados, para determinar si las anomalías encontradas fueron provocadas

accidentalmente o si reflejaban las condiciones reales del aeropuerto (Garro et al., 2022). Por otra parte, los valores de precipitación acumulada, temperaturas máximas y mínimas fueron reportados diariamente con base en los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el aeropuerto.

Después de tener los datos verificados y corregidos, se calcularon los valores promedios diarios, mensuales y en algunos casos, horarios de las diferentes variables, lo que permitió generar gráficos que representan la tendencia de las diferentes variables durante el periodo de estudio (Garro et al., 2022).

2.1 Descripción Instrumental

En la tabla 2 se incluyen las principales características del emplazamiento de los instrumentos de la estación meteorológica Campbell Oeste del AITBP (R. Picado, comunicación personal, 13 de febrero de 2024), a partir de la cual se extraen los valores de las variables meteorológicas para la elaboración de los informes METAR y SPECI.

Tabla 2. Características del emplazamiento de la estación meteorológica Campbell Oeste del AITBP

Tipo de Sensor	Emplazamiento (m)
Anemómetro Veleta	10
Temperatura Humedad relativa	2
Presión Atmosférica	1.5
Precipitación	1.5

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se presenta el climograma del AITBP y la tabla 3 corresponde al resumen de las variables meteorológicas entre 2010 y 2023. La temperatura máxima promedio se presenta en el rango de 28.7 °C y 31 °C y su valor más alto se registra en el mes de abril

y el valor mínimo en enero. Por otra parte, la temperatura máxima extrema se registra en marzo con un valor de 32.4 °C.

Con respecto a la temperatura mínima promedio, se presentan valores en el rango de 15.5 °C y 16.8 °C, donde el valor más bajo registrado ocurre en febrero. La temperatura mínima extrema reportada es de 13 °C en el mes de enero. Los meses con menor registro de precipitación se encuentran entre diciembre y marzo. Además, abril y noviembre, al ser época de transición, presentan acumulados inferiores a 150 mm mensuales. En contraste, entre mayo y

octubre se registra la mayor cantidad de precipitación, con valores mensuales de aproximadamente 283.9 mm en setiembre y 295 mm en octubre, además, se reportan más días con precipitación, alcanzando 25 días reportados. Por otro lado, el mes de julio presenta una disminución de precipitación con montos de 150 mm y corresponde con el periodo canicular (IMN, 2008). Este comportamiento es consistente con la climatología que se presenta en la región del Valle Central, donde se puede definir una estación seca, entre noviembre y marzo, y una estación lluviosa, entre mayo y octubre (IMN, 2008).

Tabla 3. Resumen de variables meteorológicas para MRPV, 2010-2023

Mes	Temperatura máxima extrema (°C)	Temperatura mínima extrema (°C)	Temperatura máxima promedio (°C)	Temperatura mínima promedio (°C)	Precipitación total media (mm)	Media de días con precipitación
Enero	30.1	13.0	28.7	15.9	4.4	2
Febrero	31.4	14.6	29.8	15.5	10.2	2
Marzo	32.4	13.8	30.5	16.1	17.7	3
Abril	32.2	14.3	31.0	16.2	102.5	12
Mayo	31.1	15.4	30.2	16.6	229.9	20
Junio	30.9	14.9	29.7	16.7	207.8	23
Julio	30.5	15.6	29.4	16.8	149.5	19
Agosto	30.7	15.6	29.5	16.4	219.1	22
Setiembre	31.4	15.2	29.5	16.3	283.9	25
Octubre	30.5	14.4	29.4	16.0	295.4	25
Noviembre	30.5	15.1	28.8	16.1	138.0	17
Diciembre	31.1	14.7	28.9	15.9	20.4	6
Anual	32.4	13.0	29.6	16.2	1678.8	17.6

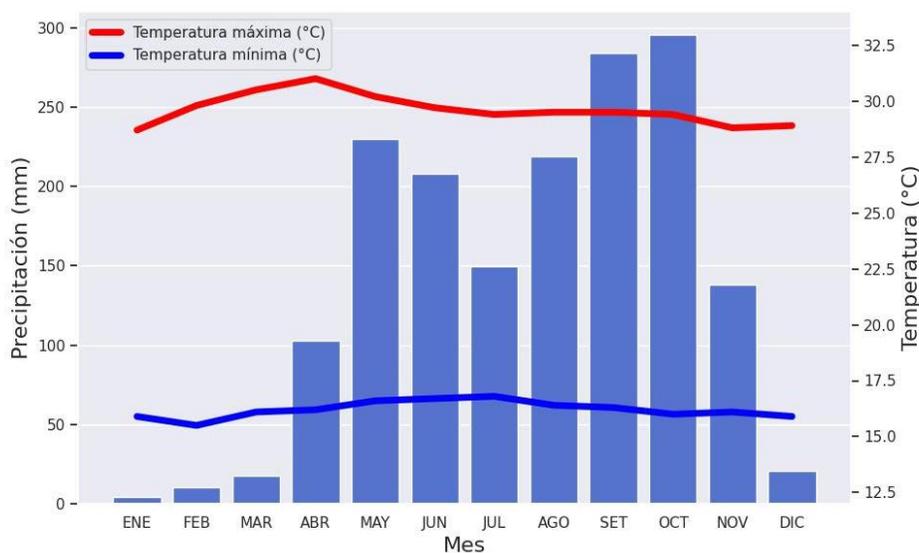


Figura 2. Climograma AITBP, 2010-2023

3.1 Viento

El viento se define como el movimiento del aire con respecto a la Tierra (IMN, 2020). Esta es una cantidad vectorial, es decir presente una dirección y una magnitud (IMN, 2020).

3.1.1 Dirección del viento

Se define como la dirección desde la que sopla el viento (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2018) la cual se expresa en grados y se redondea a la decena más próxima; se mide en sentido horario tomando como inicio el norte geográfico (OMM, 2018). Para el caso de los informes METAR la dirección del viento reportada corresponde al promedio de los 10 minutos anteriores a la hora del reporte (OACI, 2018).

La dirección del viento se define en grados (IMN, 2020) con base en lo siguiente:

- Norte (N): 337.5°-22.5°.
- Noreste (N): 22.5°-67.5°.
- Este (E): 67.5°-112.5°.
- Sureste (SE): 112.5°-157.5°.
- Sur (S): 157.5°-202.5°.
- Suroeste (SO): 202.5°-247.5°.
- Oeste (O): 247.5°-292.5°.
- Noroeste (NO): 292.5°-337.5°.

En la figura 3 se muestra que entre los meses de diciembre y marzo la dirección predominante del viento es del este durante todo el periodo de operatividad; mientras que en los meses de mayo, junio, agosto y noviembre prevalece el viento al sur en horas de la tarde. En setiembre y octubre domina la componente sur-suroeste durante el periodo de estudio.

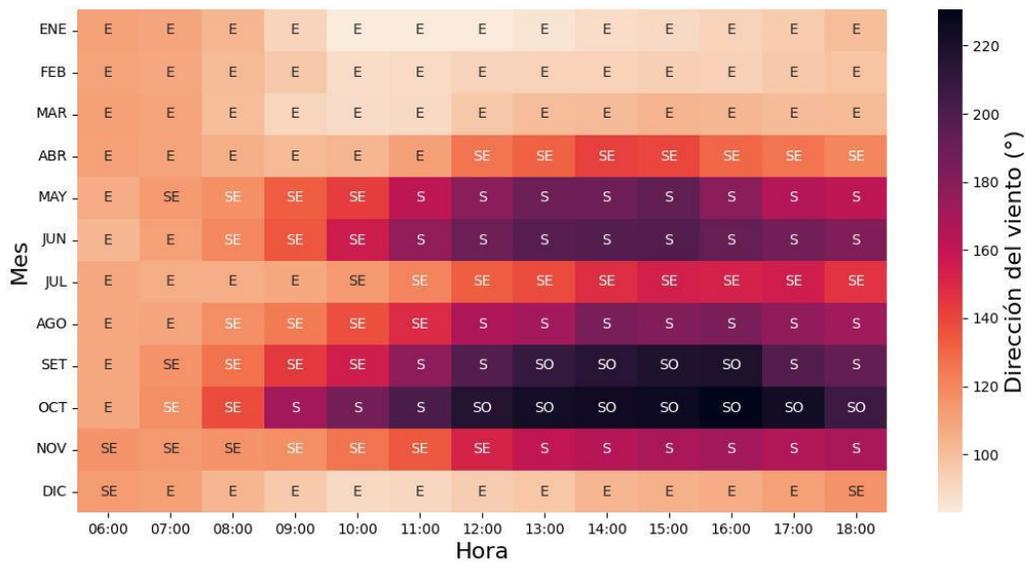


Figura 3. Mapa de calor mensual durante las horas de operación del aeropuerto para la dirección del viento en MRPV, 2005-2023.

En la figura 4 se grafica la dirección diaria del viento para el periodo de estudio. Durante diciembre, enero, febrero y marzo se presenta viento del este prevalece a lo largo de todos los días del mes, el cual es coherente con el predominio del viento alisio

en el país, la presencia de frentes en el Mar Caribe (Muñoz et al., 2002) y la influencia de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés), el cual presenta uno de valores máximos en el mes de febrero (Amador et al., 2015). A

mediados de abril ocurre un cambio en el comportamiento del viento, dado que la componente reinante en horas de la tarde es del sureste y suroeste, lo cual se mantiene hasta mediados de noviembre. Cabe mencionar que los meses de setiembre y octubre corresponden a los meses donde el

viento del suroeste domina más horas durante el día. Estos vientos son favorecidos por los oestes sinópticos y oestes ecuatoriales, ambos en la tropósfera baja, los cuales corresponden a vientos sinópticos, y fenómenos de mesoescala (Muñoz et al., 2002).

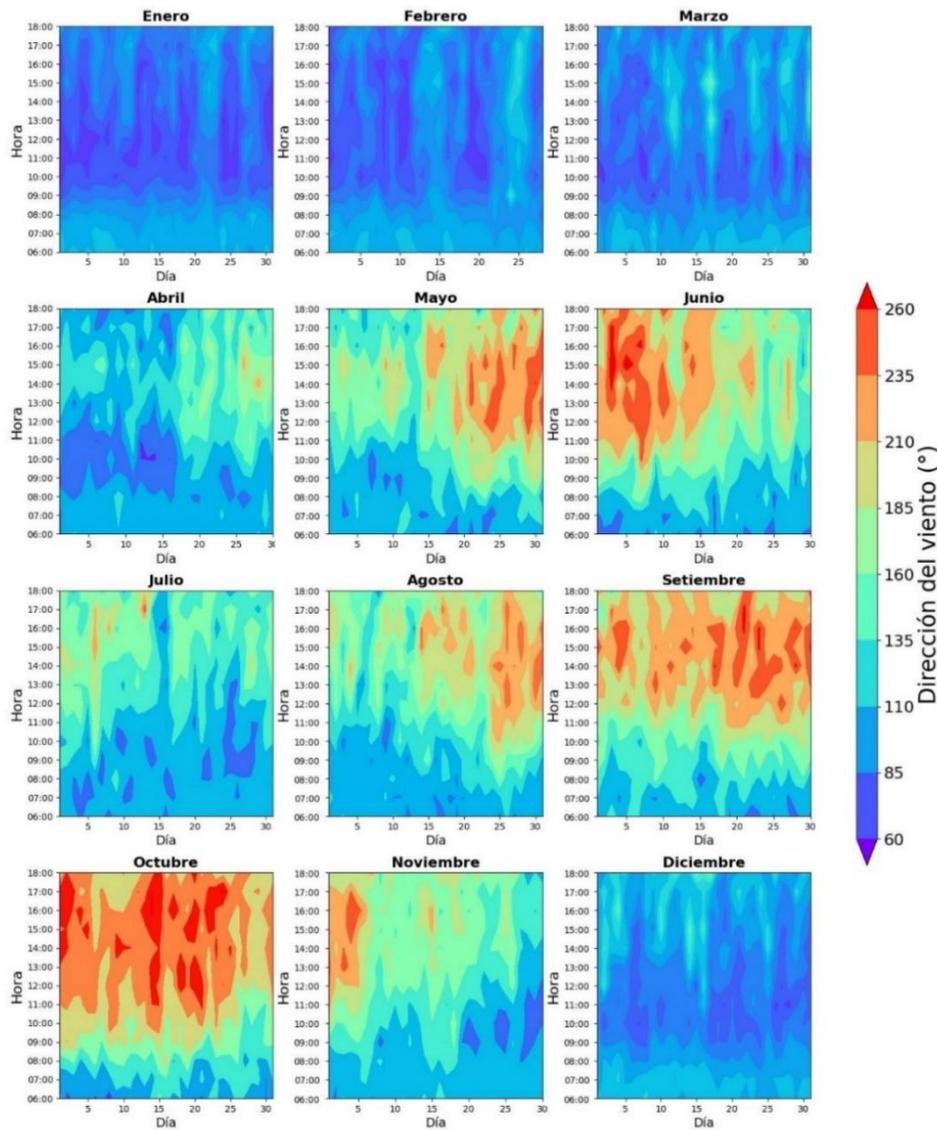


Figura 4. Distribución media diaria de la dirección del viento horario en MRPV, 2005-2023.

3.1.2 Velocidad del viento

La OMM (2018) indica que, al igual que la dirección, en los informes METAR, para la

velocidad del viento se reporta la magnitud media de los últimos 10 minutos y esta se puede notificar en nudos (Kt) o metros por segundos (m/s).

En la figura 5 se muestra la velocidad promedio mensual para el AITBP. Los meses con magnitudes más altas corresponden a los comprendidos entre diciembre y abril. Por otra parte, mayo y junio y de agosto a

noviembre son los meses menos ventosos, con promedios menores a 10 Kt. En julio se presenta un aumento en esta variable, el cual corresponde con el valor máximo de la CLLJ (Amador et al., 2015).

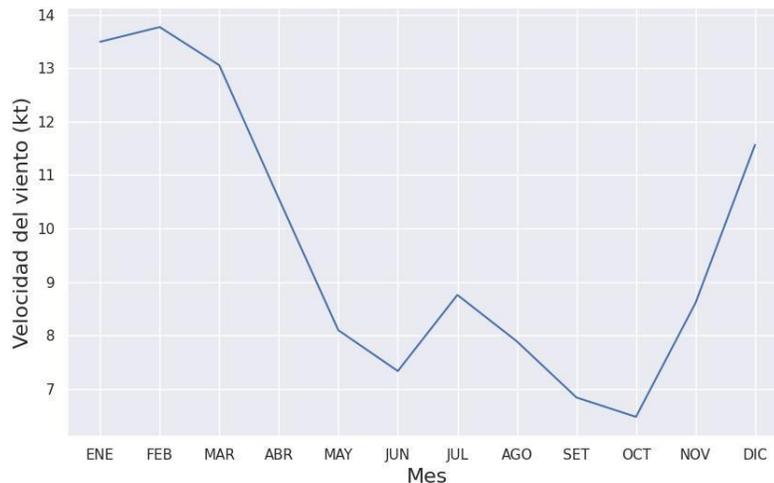


Figura 5. Variación mensual de la velocidad del viento para MRPV, 2005-2023.

En la figura 6 se presenta la distribución media diaria de la velocidad del viento. Se puede apreciar que entre las 06:00 y las 08:00 TL la velocidad del viento presenta valores mínimos durante todo el año. Además, en el mes de abril ocurre una transición en esta variable, donde los primeros días son más ventosos y este comportamiento cambia los últimos días del mes; mientras que en el mes de noviembre presenta una condición opuesta.

Durante los meses de época seca el valor máximo de la velocidad del viento se mantiene uniformemente entre las 09:00 y las 15:00 TL, mientras que, en los meses de época lluviosa, la velocidad máxima se registra entre las 12:00 y las 14:00 TL.

3.1.3 Ráfagas de viento

La ráfaga de viento se define como la velocidad del viento máxima observada en un intervalo de tiempo determinado (OMM, 2018). En el caso de los informes METAR y SPECI, la ráfaga se notifica cuando esta es 10 Kt mayor que la velocidad promedio y el intervalo de tiempo corresponde a 10 minutos (OACI, 2018).

Como se muestra en la figura 7, en el mes de marzo se registra el valor máximo en las ráfagas de viento el cual corresponde a 26 Kt, mientras que en octubre se presenta el menor valor (21 Kt). El comportamiento de esta variable es consistente con la velocidad promedio del viento discutido en la sección anterior, donde en los meses de diciembre a abril y en julio se registran mayores montos.

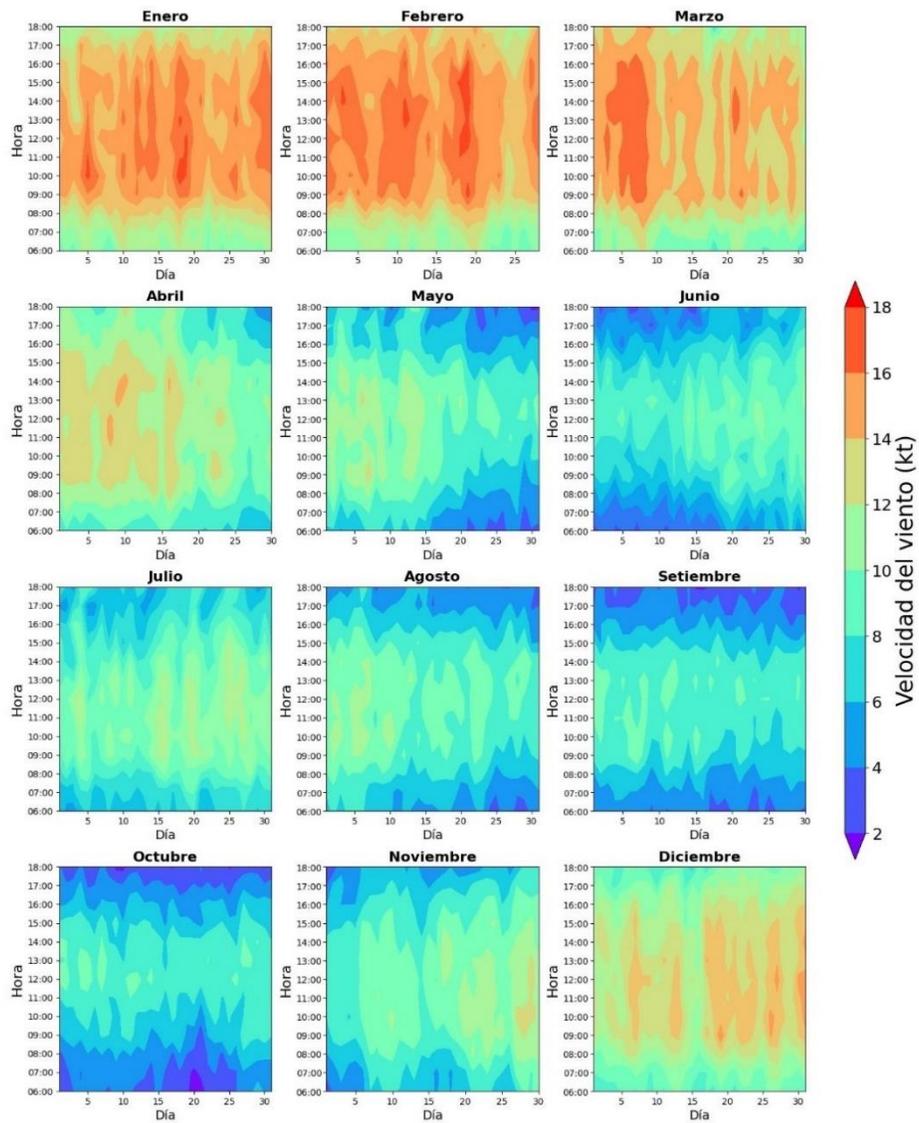


Figura 6. Distribución media diaria de la velocidad del viento horario para MRPV, 2005-2023.

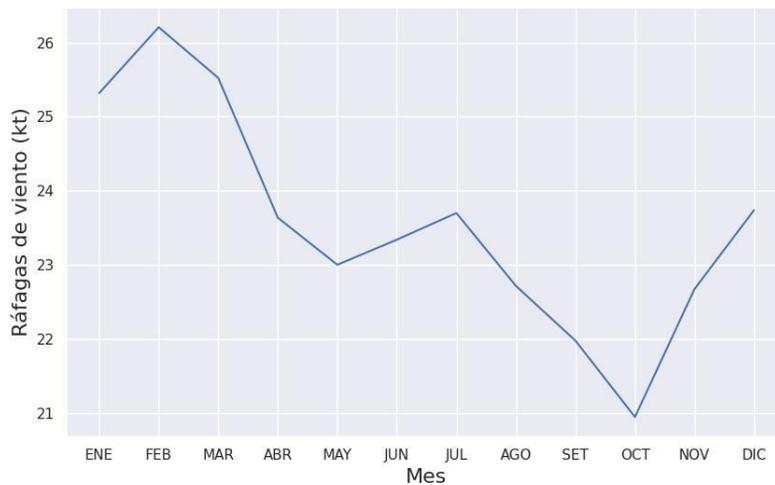


Figura 7. Variación mensual de la ráfaga máxima del viento para MRPV, 2005-2023.

Con respecto al número de ocurrencias (figura 8), entre diciembre y marzo se registra el mayor número de ráfagas, mientras que en setiembre y octubre solamente se reportan 1 y 2 ocurrencias respectivamente. Las ráfagas entre 30 Kt y 39 Kt se presentan únicamente entre noviembre y abril. Esto

corresponde con los meses donde el país presenta mayor influencia de frentes fríos y su línea de cortante asociada (Chinchilla et al., 2016) y los meses donde el viento es predominante del este, como se discute en secciones anteriores.

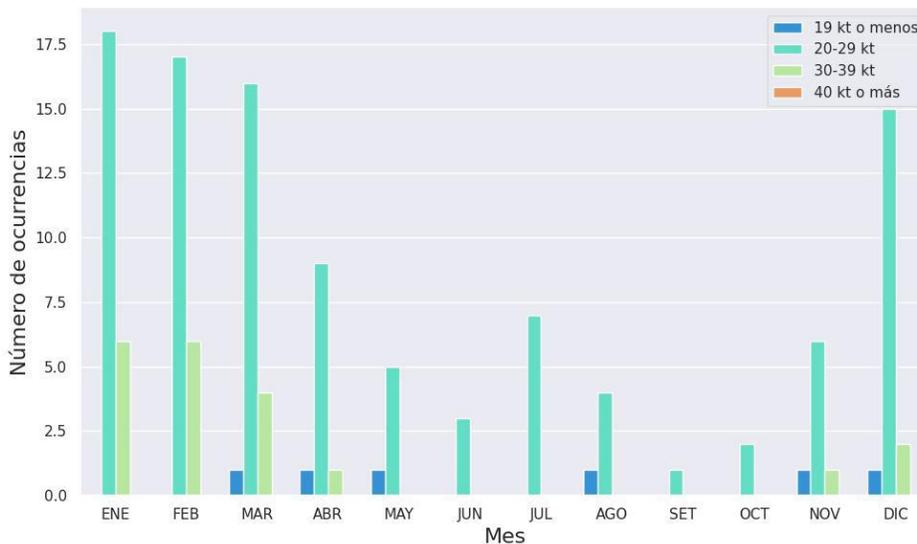


Figura 8. Promedio de ocurrencias de ráfagas de viento por mes, para valores menores a 20 kt (azul), entre 20 y 29 kt (celeste), entre 30 y 39 Kt (verde) y más de 40 kt (naranja), para MRPV, 2005-2023.

3.2 Temperatura del aire

La temperatura se define como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio promedio de las moléculas en un medio (OMM, 2018). En el caso de meteorología, la temperatura del aire corresponde a la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa (OMM, 2018). Para aplicaciones aeronáuticas, la temperatura deberá notificarse en grados Celsius (°C) y deben reportarse de forma escalonada en unidades enteros (OACI, 2018).

La figura 9 se presenta la variación mensual de la temperatura media, donde se aprecia que en abril ocurre un valor máximo en esta variable, mientras que el mínimo ocurre en octubre, el cual corresponde al mes más lluvioso del año según los datos de la Tabla 1, con valores promedio de 295.4 mm, y junto con setiembre es el mes con mayor cantidad de días con precipitación. Además, durante este mes se presenta la mayor influencia de ciclones tropicales, lo cual está asociado con días con mayor cobertura nubosa y precipitación constante a lo largo del día (IMN, 2008).

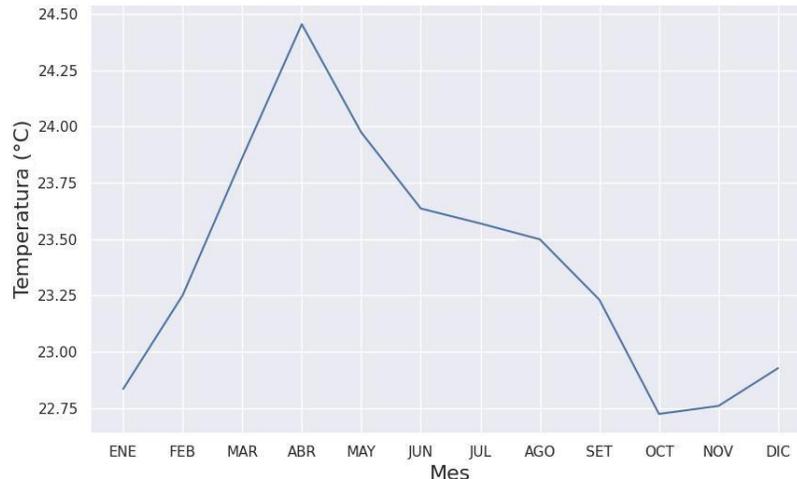


Figura 9. Variación mensual de la temperatura media para MRPV, 2005-2023.

Con respecto a la distribución diaria (figura 10) entre el 25 de marzo y el 30 de abril se registran los montos mayores, alcanzando hasta 28 °C, mientras que entre el 1 de octubre y el 31 de diciembre se reportan las menores temperaturas. Con respecto a la distribución horaria, las mayores

temperaturas se ocurren entre las 11:00 y las 13:00 TL. Este comportamiento corresponde al ciclo diurno, el cual consiste en la modulación del periodo solar de 24 horas en los procesos atmósfera-océano -tierra (Amador et al., 2013).

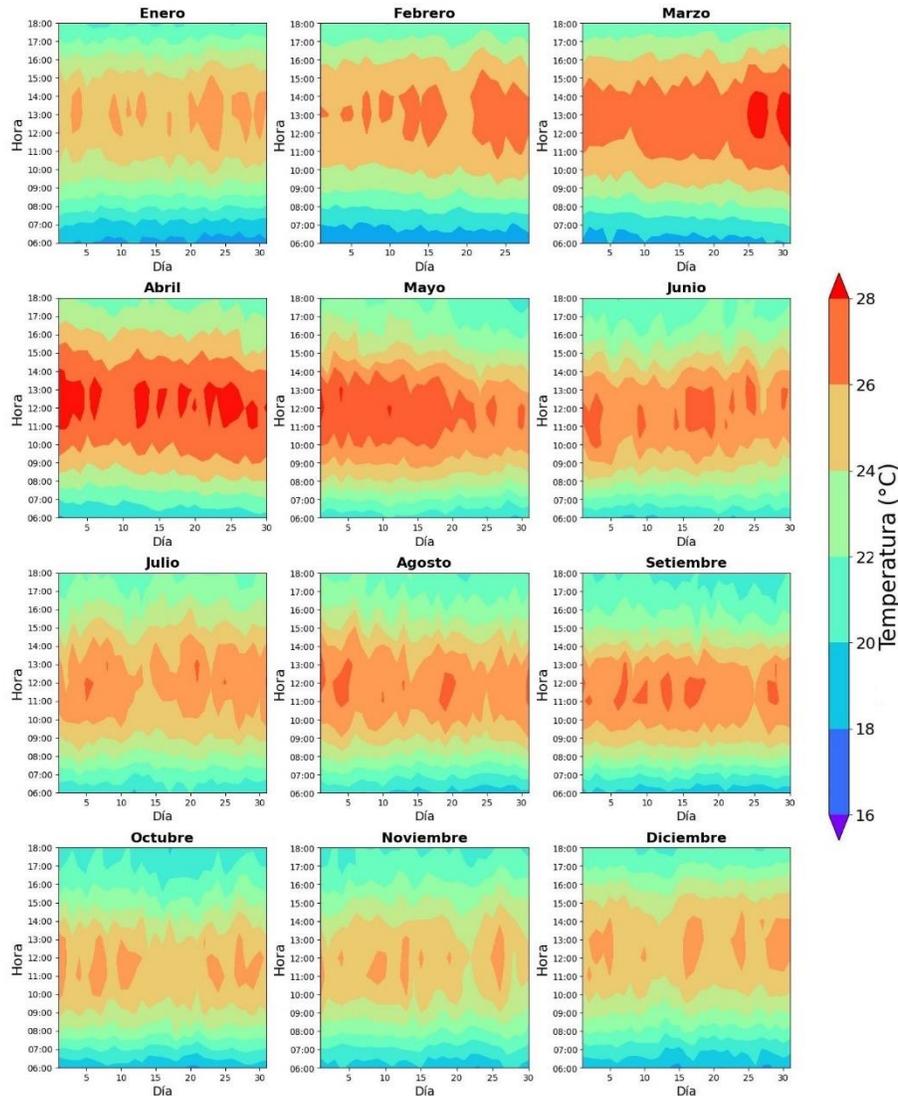


Figura 10. Distribución media diaria de la temperatura horaria para MRPV, 2005-2023.

3.3 Temperatura del punto de rocío

Para las aplicaciones aeronáuticas, la humedad atmosférica se expresa en términos de la temperatura del punto de rocío, la cual, según la OMM (2018) es la temperatura a la cual el aire húmedo, saturado con respecto al agua a una presión dada, tiene una razón de mezcla de saturación igual a la razón de mezcla dada. Al igual que la temperatura del aire, esta variable se notifica en grados celsius (°C) y

se reporta el valor redondeado al grado entero más próximo (OACI, 2018; OMM, 2018).

En la figura 11 se muestra la variación mensual del punto de rocío medio, donde se aprecia que en los meses de época seca se presentan los valores mínimos en esta variable, mientras que los valores máximos se registran en época lluviosa. En el mes de julio ocurre un mínimo relativo, el cual puede estar asociado con el periodo canicular (IMN, 2008).

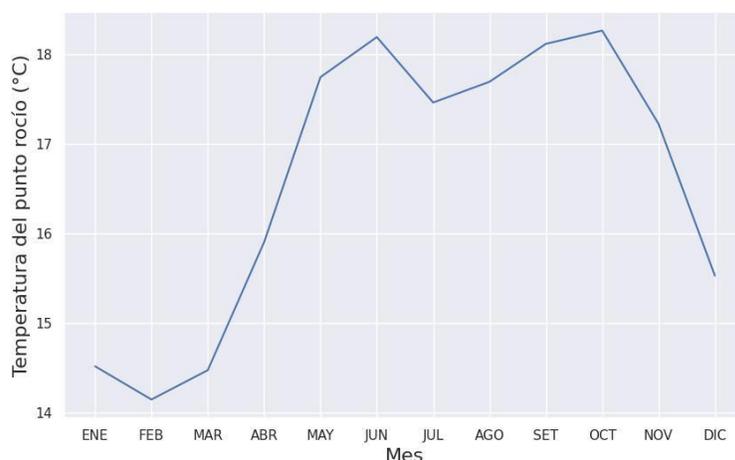


Figura 11. Variación mensual de la temperatura del punto de rocío por mes para MRPV, 2005-2023.

Con respecto a la distribución diaria (figura 12) entre los periodos que abarcan de mayo a junio y de setiembre a octubre se registran los montos mayores, donde se alcanzan valores de más de 20 °C, mientras que entre enero y marzo se reportan las menores temperaturas. Además, se observa un comportamiento característico del periodo de transición en abril, donde en una quincena del mes se presentan puntos de rocío menores y en la siguiente esta cambia a valores menores; comportamiento contrario al que ocurre en el mes noviembre. Con respecto a la distribución horaria, se aprecia el comportamiento del ciclo diurno de esta variable, con valores mínimos en horas de la mañana y máximos en horas de la tarde, entre las 13:00 y las 18:00 TL.

3.4 Presión atmosférica a nivel del mar

La OMM (2018) define la presión atmosférica sobre una superficie como la fuerza por unidad de área que ejerce sobre esta el peso de la atmósfera que está encima. En los informes METAR se notifica el valor del QNH (OACI, 2018), el cual es el valor de la presión

a la que debe ajustarse el altímetro de una aeronave para que indique la elevación del aeródromo cuando la aeronave se encuentre posada sobre el suelo de este (OMM, 2018). Esta se notifica en hPa (OACI, 2018) o en pulgadas de Mercurio (inHg).

En la figura 13 se observa un comportamiento irregular en la presión (QNH) a lo largo del año, lo que ocurre debido a la influencia de los sistemas de gran escala que afectan el país, como lo son los empujes fríos, ciclones tropicales, bajas presiones (IMN, 2008; Chinchilla et al., 2016). Los meses con mayores valores en la presión corresponden a enero, febrero y marzo, meses lo que el país es influenciado por empujes fríos y se asocian con un aumento en la presión (Chinchilla et al., 2016). Setiembre y octubre son los que presentan una mayor influencia de ciclones tropicales, lo que se ve reflejado en una disminución de esta variable (IMN, 2008).

Por medio de la distribución media diaria de la presión (figura 14), se observa un máximo relativo de las 08:00 a las 10:00 TL y un mínimo relativo de 14:00 a las 16:00 TL.

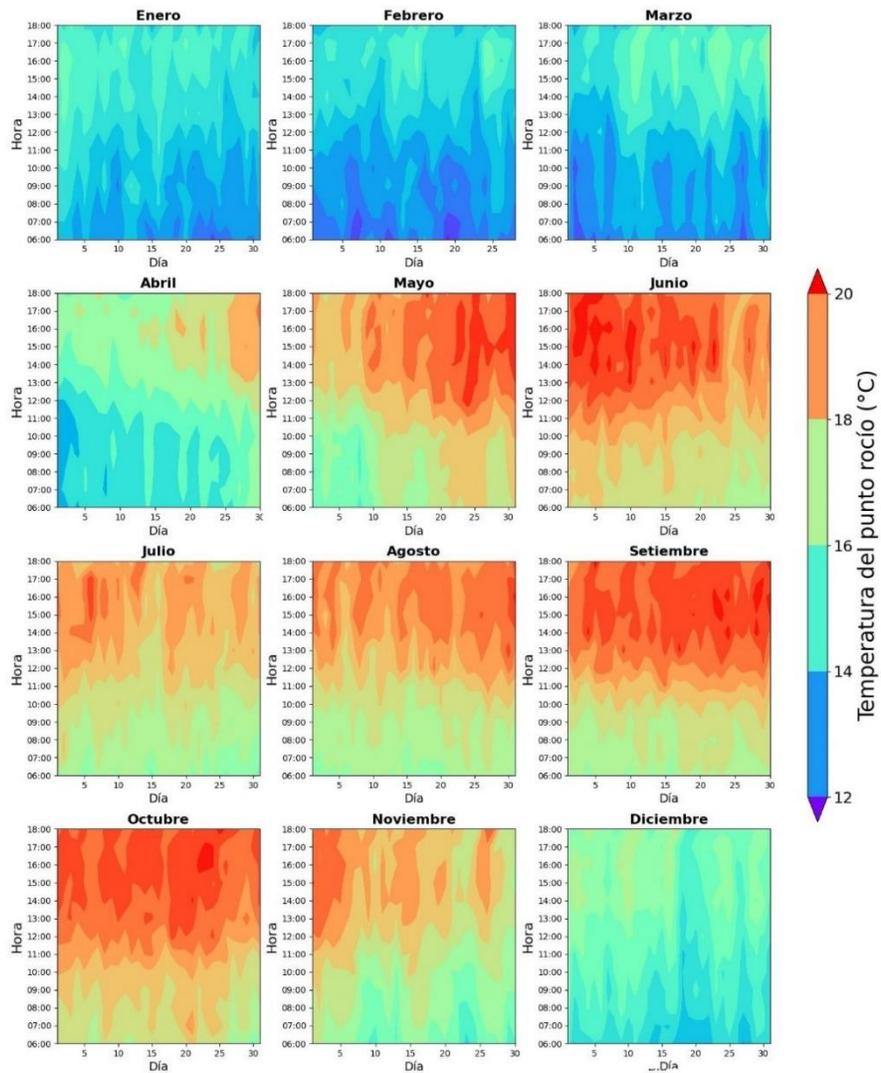


Figura 12. Distribución media diaria de la temperatura del punto de rocío en MRPV, 2005 -2023.

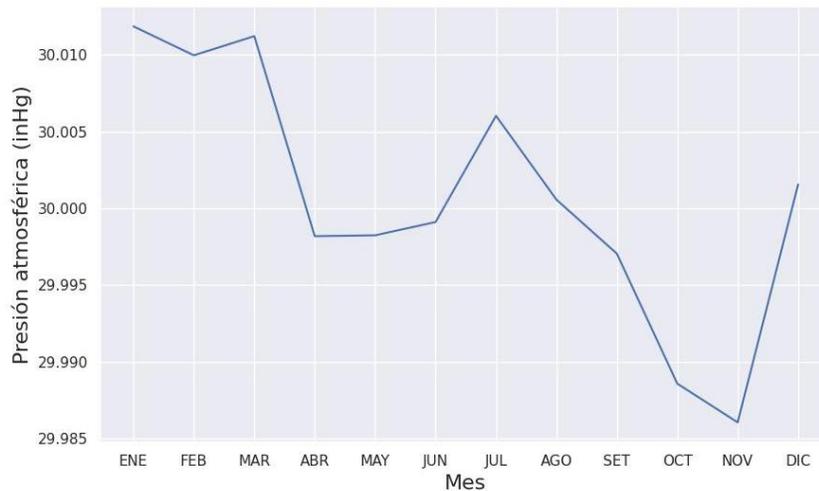


Figura 13. Variación mensual de la presión (QNH) media para MRPV, 2005-2023.

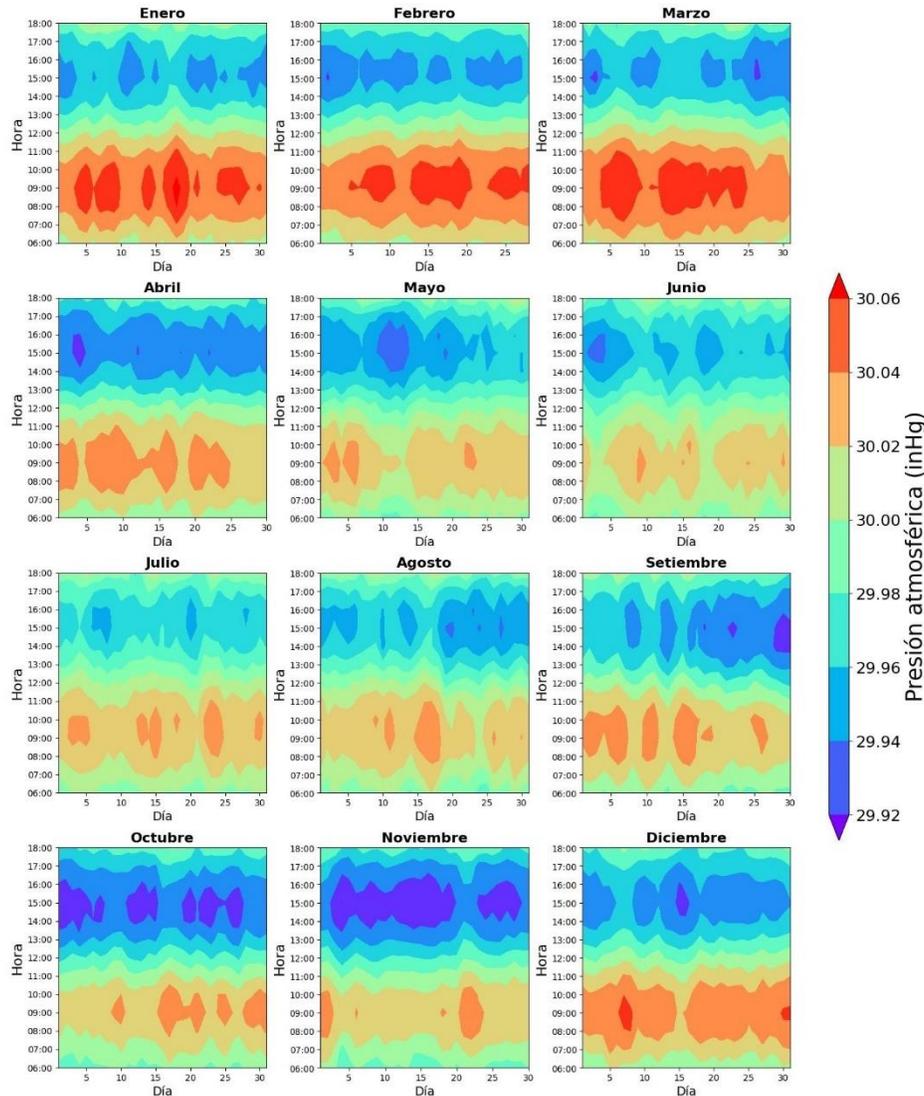


Figura 14. Distribución media diaria de la presión (QNH) media para MRPV, 2005-2023

3.5 Visibilidad

La visibilidad se define como la máxima distancia a la que puede verse y reconocerse un objeto negro de dimensiones adecuadas, situado cerca del suelo, al ser observado ante un fondo brillante; mientras que, en el caso de contar con un fondo no iluminado, corresponde a la distancia máxima a la que pueden verse e identificarse las luces de aproximadamente 1000 candelas (OACI, 2018).

3.5.1 Visibilidad horizontal

Para efectos de la climatología, se estará analizando la visibilidad reinante, la cual corresponde a la visibilidad al que se llega dentro de un círculo que cubre por lo menos la mitad del horizonte o por lo menos la mitad de la superficie del aeródromo (OACI, 2018).

Con respecto a esta variable, entre mayo y noviembre se presentan más de 10 días donde la visibilidad vertical reinante reportada es menor a 5000 m; además, octubre es el mes con el mayor número de

casos registrados, con más de 20 reportes (figura 15a).

En la figura 15b se muestra la distribución horaria mensual de los registros de visibilidades menores a 5000 m. Con base en esta figura, se puede concluir que entre las

14:00 y las 18:00 TL corresponde al periodo donde se reporta mayor cantidad de reportes de visibilidades menores a 5000 m, con más de 2 casos al mes. Cabe mencionar que el mes de octubre es el que presenta mayores acumulados de precipitaciones.

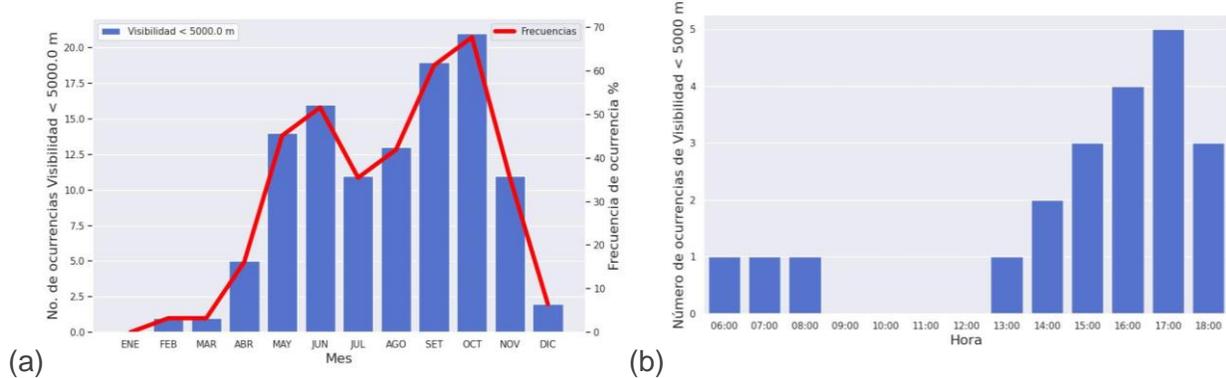


Figura 15. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con al menos un reporte de visibilidad horizontal menor a 5000 metros de ocurrencia en MRPV, 2005-2023.

3.5.2 Visibilidad vertical

La OMM (2018) define la visibilidad vertical como: “la distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto en su misma vertical”. Para el caso de esta climatología, se estudiará la altura a la cual se presentan techos de nubosidad, los cuales se definen como la capa de nubosidad más baja que se encuentra a la misma altura y cubra más de a 4 octas al dividir el cielo total en 8 secciones iguales. Para los informes METAR, la altura se notifica en pies (ft) (OACI, 2018). Debido a los valores de los mínimos meteorológicos presentados en la tabla 1, se analizan los casos de techo de nubosidad reportada por debajo de los 1500ft.

En la figura 16a se muestra la cantidad de días por mes donde se reporta techo de nubosidad por debajo de los 1500 ft. Según los mínimos meteorológicos de la tabla 1, este valor genera afectación en las operaciones.

Los meses con mayor cantidad de días con ocurrencia corresponden a setiembre y octubre, con más de 10 días con techo de nubosidad, lo cuales coinciden el periodo con valores de punto de rocío más elevados. Por otra parte, entre diciembre y abril se reportan los días con menor cantidad de eventos, los que corresponden a la estación seca en la región. En cuanto a la distribución horaria, se observa que la mayor cantidad de casos ocurre entre las 14:00 y las 18:00 TL, con el valor máximo a las 17:00 TL (figura 16a).

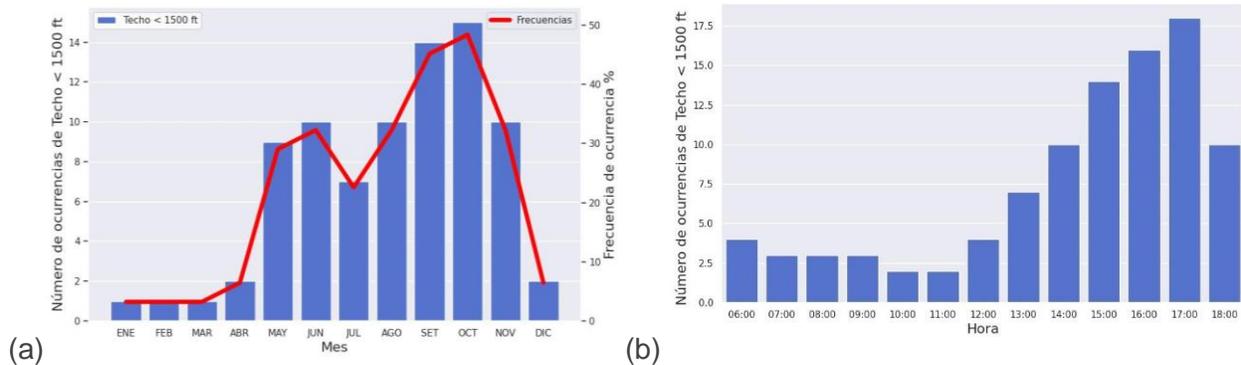


Figura 16. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con al menos un reporte de visibilidad vertical menor a 1500ft y sus frecuencias de ocurrencia en MRPV, 2005-2023.

3.6 Fenómenos de tiempo presente

Según la OMM (2018), tiempo meteorológico hace referencia a las observaciones del estado de la atmósfera y los fenómenos asociados, las cuales son descripciones cualitativas de los fenómenos observados en la atmósfera en la superficie de la Tierra. Tiempo presente es una descripción de los fenómenos meteorológicos que ocurren en el momento de la observación (OMM, 2018).

3.6.1 Tormenta eléctrica

La tormenta se define a partir de observadores humanos, donde el fenómeno se reporta cuando se oyen truenos, aunque no se vean relámpagos (OMM, 1992, como se citó en OMM 2018). La intensidad de la tormenta se puede definir por medio de instrumentación, utilizando contadores de relámpagos. Para esto se debe determinar la cantidad específica de relámpagos en un intervalo de tiempo dato, y así asignar una intensidad (débil, moderada o fuerte) (OMM, 2018). En el caso del AITBP se cuenta con herramientas como el Sistema *Thunderstorm*

Manager de la empresa Vaisala para la detección de descargas eléctricas.

Este fenómeno se produce debido a las nubes cumulonimbos (nubes de desarrollo vertical considerable), las cuales puede generar corrientes descendentes, que se definen como vientos descendentes de gran velocidad y puede ser de peligro para la aviación (IMN, 2020; IMN, s.f.b).

La figura 17a muestra la cantidad de días con reporte de tormenta eléctrica, a partir del cual se puede observar que mayo, junio y de agosto a octubre son los meses con mayor cantidad de reporte de tormenta con más de 5 días reportados; mientras que entre diciembre y marzo la ocurrencia es nula. Este máximo corresponde con los meses donde se registran condiciones más húmedas en el aeródromo, lo que es fundamental en la convección.

La hora a la cual se reporta este fenómeno es entre las 13:00 TL y las 16:00 TL, con su valor máximo a las 15:00 TL, como se observa en la figura 17b.

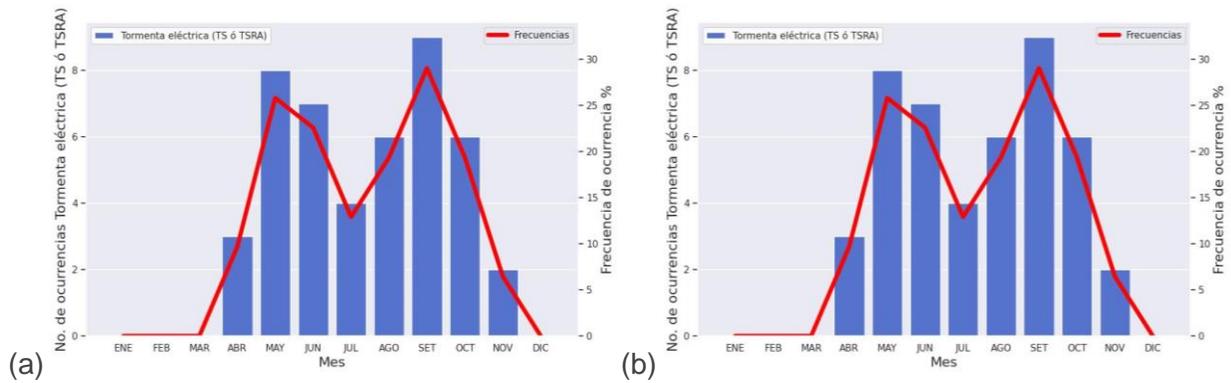


Figura 17. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con tormenta eléctrica en MRPV, 2005-2023.

3.6.2 Chubasco de precipitación

El chubasco de precipitación es un fenómeno asociado a las nubes convectivas, se caracterizan por un brusco comienzo y final y cambios repentinos en la intensidad de la precipitación, además, las gotas son generalmente mayores que las observadas en otros tipos de precipitación (OMM, 2018).

La figura 18a muestra la cantidad de días con reporte de chubascos de precipitación, a partir de la cual se puede observar que entre diciembre y marzo se presentan menos días con reporte de chubasco, con menos de 2 reportes por mes. Además, los meses de setiembre y octubre son los meses con mayor número de ocurrencia, con 5 registros por mes. La hora a la cual se reporta este fenómeno es entre las 13:00 TL y las 15:00 TL, como se observa en la figura 18b.

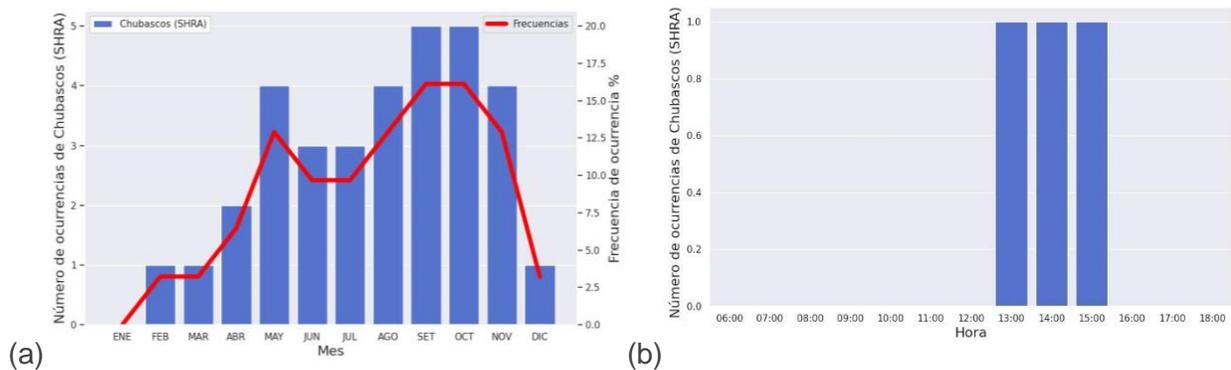


Figura 18. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con chubasco de lluvia en MRPV, 2005-2023.

3.6.3 Llovizna

La llovizna se caracteriza por ser precipitación uniforme en forma de gotas de agua pequeña (diámetros menos a 0.5mm); se presenta en nubes estratiformes (OMM, 2018).

La figura 19a muestra la cantidad de días con reporte de llovizna. Este fenómeno se reporta durante todo el año, además, julio y noviembre son los meses con mayor número de registros, con 5 días por mes, mientras que en febrero y marzo solo reporta 1 día. La hora a la cual se ocurre este fenómeno es entre las 15:00 TL y las 17:00 TL, como se

observa en la figura 19b. Junto con los chubascos, estos son los fenómenos con menor número de ocurrencia en AITBP.

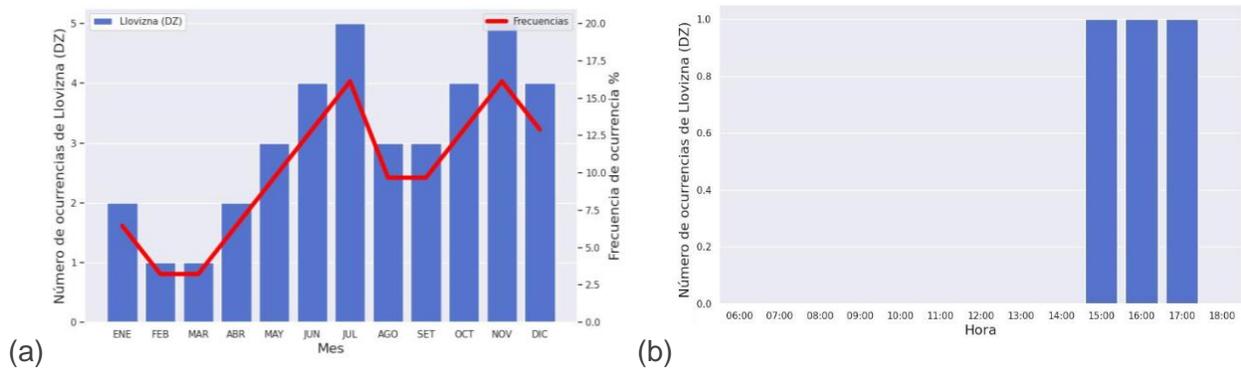


Figura 19. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con llovizna en MRPV, 2005-2023.

3.6.4 Lluvia

La OMM (2018) define la lluvia como precipitación de gotas de agua de diámetro y concentración variable considerablemente, la cual se puede clasificar en débil (grandes gotas dispersas o numerosas gotitas y la rapidez en su acumulación en la cubierta es reducida), moderada (no permite apreciar claramente las gotas aisladas) e intensa.

La figura 20a muestra la cantidad de días con reporte de lluvia. Entre mayo y noviembre se presenta mayor cantidad de días ocurrencia

de lluvia, con más de 10 días con reportes por mes. Además, de enero a marzo son los meses con menor número de registros, con menos de 5 eventos por mes. La hora a la cual se presenta este fenómeno es entre las 11:00 TL y las 18:00 TL (figura 20^a).

Al comparar con los resultados anteriores, se observa que la lluvia es la forma de precipitación con mayor número de reportes en el aeropuerto en comparación con los chubascos y la llovizna. Además, este es el fenómeno que se presenta con mayor persistencia a lo largo del día.

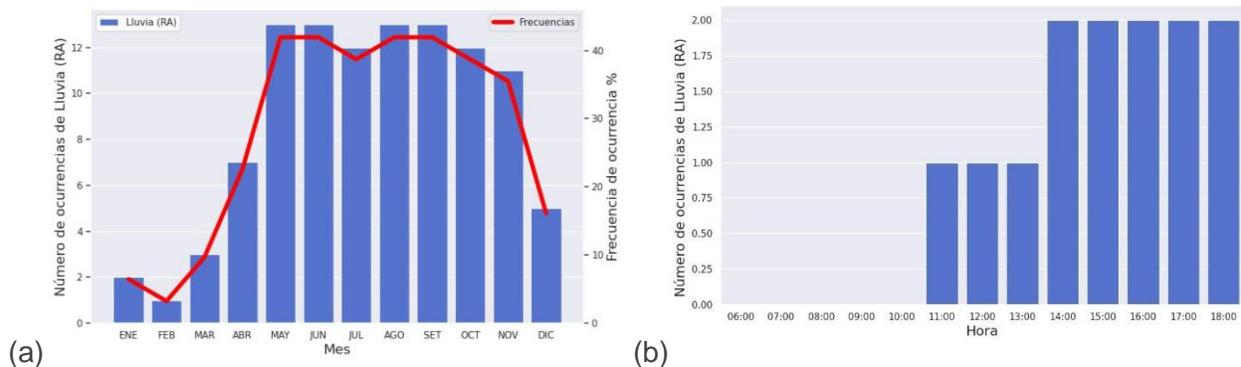


Figura 20. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con lluvia en MRPV, 2005-2023.

3.6.5 Niebla

La niebla consiste en gotas de agua muy pequeñas (diámetros entre 1 a 40 μm) suspendidas en la atmósfera, con velocidades de caída de 1 a 5 cm/s, lo que provoca que incluso vientos débiles puedan desplazarlas casi horizontalmente (OMM, 2018). En el caso del informe METAR, este fenómeno se notifica si la velocidad es inferior a los 1000 m (OACI, 2018).

La figura 21a muestra la cantidad de días con reporte de niebla. Entre mayo y noviembre (exceptuando julio) se presenta mayor cantidad de días con registro de niebla, con más de 5 días con eventos por mes. Además, los meses de enero a marzo los reportes de este fenómeno son nulos. Las horas a las cuales se presenta este fenómeno es a las 06:00 y entre las 16:00 TL y las 18:00 TL, como se observa en la figura 21b.

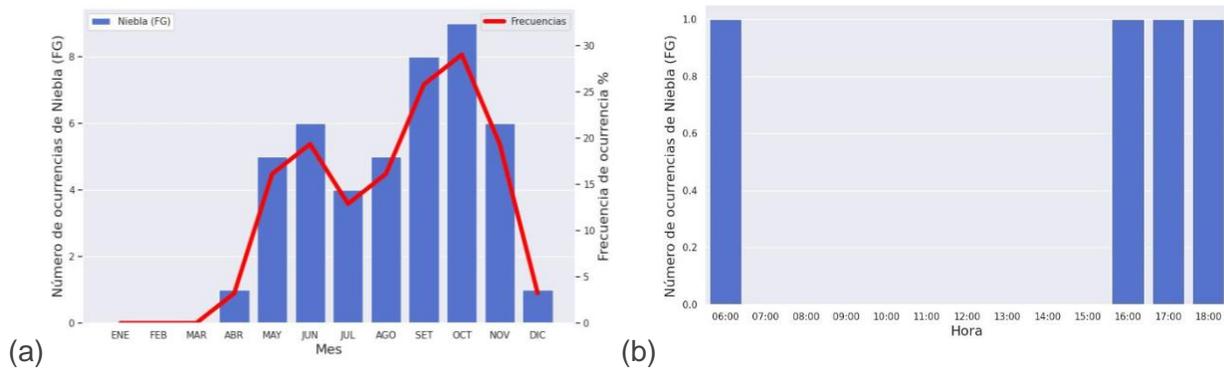


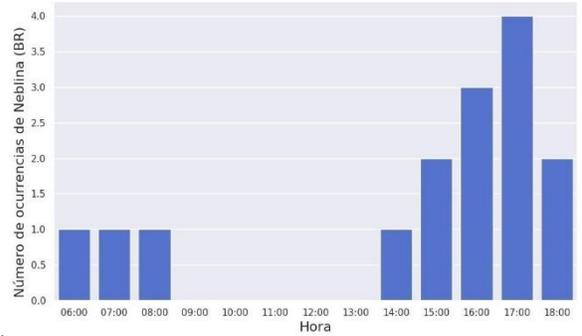
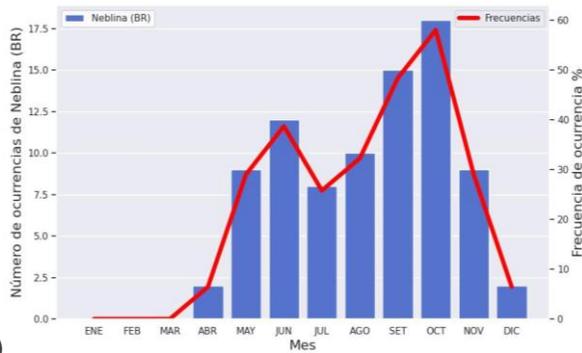
Figura 21. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con niebla en MRPV, 2005-2023.

3.6.5 Neblina

La neblina es un hidrometeoro en suspensión, el cual se notifica en los informes METAR cuando se reduce visibilidad entre 1000 m y 5000 m (OACI, 2018).

El periodo en el cual se reporta este fenómeno es entre las 06:00 y las 08:00 y entre las 14:00 TL y las 18:00 TL, con su valor máximo a las 17:00 TL, como se observa en la figura 22b. Cabe mencionar que, al comparar con la ocurrencia de los fenómenos de tiempo presente de secciones anteriores, los hidrometeoros en suspensión (niebla y neblina) son los únicos que presentan registros en horas de la mañana. Además, entre las 09:00 TL y las 13:00 TL no se presenta este fenómeno, debido a que el calentamiento diurno favorece la disipación de este.

La figura 22a se observa que entre mayo y noviembre se presenta la mayor cantidad de días con reporte de niebla, con más de 5 días con reportes por mes. Destaca que su valor máximo es en octubre con más de 15 días reportados. En contraste, los meses de enero a marzo la ocurrencia de este fenómeno es nula.



(a) (b)

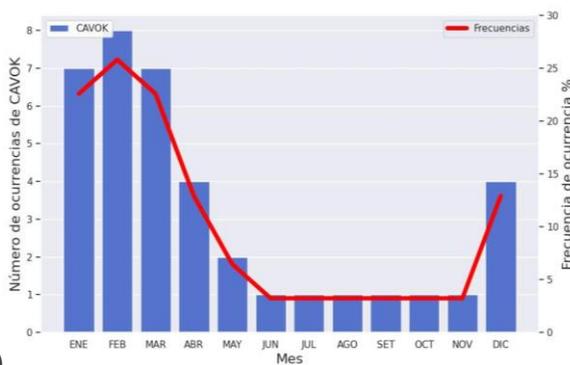
Figura 22. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con neblina en MRPV, 2005-2023.

3.7 CAVOK

Según la OACI (2018), se utilizará CAVOK cuando se presentan de forma simultánea las siguientes condiciones:

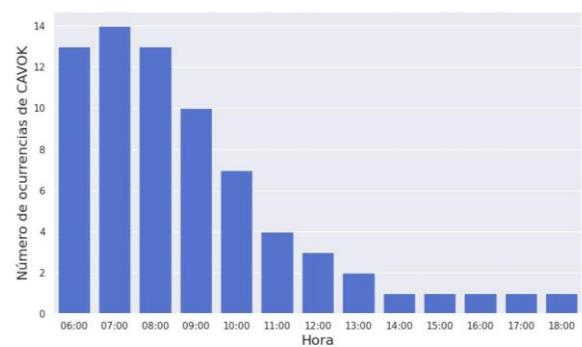
1. Visibilidad horizontal de 10 km o más y no se notifica visibilidad mínima.
2. Ninguna nubosidad de importancia para las operaciones, es decir, a alturas mayores a 5000 ft.
3. Ninguna condición meteorológica que tenga significación para la aviación.

En la figura 23a, se muestra el número de días con ocurrencia de CAVOK en al menos



6 reportes, los cuales no necesariamente ocurren de forma consecutiva. Se observa que de diciembre a abril se presenta el mayor número de días bajo estas condiciones. Al comparar con la figura 14 y 17, se puede concluir que este periodo corresponde con los meses donde se reportan valores de temperaturas medias mayores y punto de rocío menores, lo que se asocia con condiciones de menor humedad.

La figura 23b muestra la distribución horaria de la cantidad de reportes CAVOK, donde se presenta mayor número de ocurrencia entre las 06:00 TL y las 09:00 TL, con valores mayores a 10 reportes.



(a) (b)

Figura 23. (a) Valores mensuales medios y (b) promedios anuales por hora de días con al menos seis reportes con CAVOK y sus frecuencias de ocurrencia en MRPV, 2005-2023.

4. CONCLUSIONES

Por su ubicación, el AITBP pertenece a la región climatológica del Valle Central, lo cual es consistente con los resultados obtenidos para las variables analizadas, con base en los datos informes METAR elaborados en la Oficina de Meteorología Aeronáutica de dicho aeródromo.

Con respecto al viento, se registran las velocidades promedio del viento más altas entre enero y marzo, acompañado de ráfagas que superan los 25 kt. Durante estos meses, la dirección predominante del viento es del este, lo cual corresponde con la influencia del viento alisio en el país, mientras que, entre mayo y noviembre, la componente predominante es del sur y del suroeste, así mismo, este periodo corresponde a la época lluviosa.

Por otra parte, el mes que presenta la temperatura más alta corresponde a abril. En febrero se registra la temperatura mínima promedio extrema. Para las presiones, se evidencia que el comportamiento anual es influenciado por los fenómenos de escala sinóptica, como frentes fríos y ciclones tropicales.

Con respecto a los fenómenos de tiempo presentan, la mayoría de estos se registran en horas de la tarde, siendo la lluvia el que presenta mayor frecuencia. Además, entre mayo y noviembre se presenta una alta frecuencia en el reporte de estos, lo cual corresponde con los meses de época lluviosa y transición en la región del Valle Central.

6. AGRADECIMIENTO

Al personal de la Oficina de Meteorología del Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños del área de observación por el registro y sistematización de los datos utilizados para la elaboración de este documento.

A Nury Sanabria Valverde del Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas del IMN por facilitar la carta de visibilidad del aeródromo y la imagen de la ubicación del Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños.

A Robert Picado por brindar los datos de las características de la estación meteorológica automática del Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños.

5. REFERENCIAS

- Amador, J. A., Durán-Quesada, A. M., Rivera, E. R., Mora, G., Sáenz, F., Calderón, B., & Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part II: Seasonal and intraseasonal modes of atmospheric variability. *Revista de Biología Tropical*, 64(S1), 23-57.
- Amador Astúa, J. A., Alfaro Martínez, E. J., Hidalgo León, H. G., Soley Alfaro, F. J., Solano Chaves, F. J., Vargas, J. L., ... & Bojorge, C. (2013). *Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera (Informe Final de Proyecto)*. Centro de Investigaciones Geofísicas, Corporación Bananera Nacional. Recuperado de https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/11121/IF_CORBAN_A_anexos_IP_IS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chaves-Hidalgo, K. (2018). *Climatología Aeronáutica (2013-2017) AITBP (Costa Rica)*. Instituto Meteorológico Nacional.
- Chinchilla, G.; Gutiérrez, J. y Zárate, 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*

- Meteorológicas y Oceanográfica*, 15. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20162/html5/index.html?page=1&noflash>
- Chinchilla, G.; Gutiérrez, J. y Zárate, 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 Meteorológicas y Oceanográfica*, 16. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20172/>
- Decreto Ejecutivo 42678 de 2020 [Ministerio de Obras Públicas y Transporte]. RAC 03 Reglamento de Servicio meteorológico para la navegación aérea. 19 de octubre de 2020
- Dirección General de Aviación Civil (2013). *Plan de Atención de Emergencias Aéreas y Atención de Contingencias AITBP*. Recuperado de: <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2017/05/PEA-MRPV.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil (2021). *AD 2. Aeródromos MRPV – Tobías Bolaños Intl*. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Recuperado de: <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2022/03/AIP-MRPV-06DEC21.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil (2022). *Plan de Emergencias Aeroportuarias AITBP*. Recuperado de: <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2022/11/7M21-Plan-de-Emergencias-Aeroportuarias-AITBP-R.03.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil (2023a). *AD 2. Aeródromos MRPV – Tobías Bolaños Intl*. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Recuperado de: https://www.cocesna.org/aipca/AIPM R/AIP_2301/Eurocontrol/COSTA%20RICA/2023-12-28-AIRAC/html/index-es-ES.html
- Dirección General de Aviación Civil (2023b). *Anuario Estadístico de Transporte Aéreo 2022*. Recuperado de: <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2023/11/Anuario-2022-1.pdf>
- Garro-Molina, D.; Chaves Hidalgo, K. C.; Montes Quirós, M.; Solano León, E. y Valverde Mora, J. P. (2023) *Climatología Aeronáutica (2005-2022) AITBP*. Instituto Meteorológico Nacional.
- Hidalgo, H.G.; Alfaro, E.J.; Hernández-Castro, F. y Pérez-Briceño, P.M. (2020). Identification of Tropical Cyclones' Critical Positions Associated with Extreme Precipitation Events in Central America. *Atmosphere*, 11(10), 1123; <https://doi.org/10.3390/atmos11101123>
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (2008). *Segunda Comunicación sobre Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Documento Técnico. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. San José, Costa Rica, pp 20-23. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020). *Glosario meteorológico*. San José, Costa Rica.

- Instituto Meteorológico Nacional. (s.f.a). *Sobre algunos fenómenos meteorológicos en Costa Rica*. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Compendio+sobre+fen%C3%B3menos+meteorol%C3%B3gicos>
- Instituto Meteorológico Nacional. (s.f.b). *Tormenta Eléctrica. Elementos para la formación de tormentas severas*. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/web/imn/tormentaselectricas>
- Mora, N. (2020) *La brisa marina en el Pacífico central de Costa Rica durante Ticosonde-NAME 2004: observaciones y modelado numérico* [Tesis de Licenciatura en Meteorología] Universidad de Costa Rica. Repositorio SIBDI-UCR. <https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/18536>
- 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.
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.
- 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).
- Rodríguez Chaves, A (2015). Entre el asombro y el escepticismo. Inicios de la aviación en Costa Rica. *Tiempo y Sociedad*, 20, 55-75.
- Sáenz, F., & Amador, J. A. (2016). Características del ciclo diurno de precipitación en el Caribe de Costa Rica. *Revista de climatología*, 16, 21-34.
- Stolz España, W.; Rojas Ureña, J. y Chinchilla, G. (2012). Climatología Aeronáutica (2000-2010). AITBP (Costa Rica). *Instituto Meteorológico Nacional*.
- Solano Quintero, J. y Villalobos Flores, R. (2001). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfico de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 8(1), pp 26-39.
- Ugalde-Castro, K. (2022). *Estudio del inicio y término de la estación lluviosa en el Pacífico Norte de Costa Rica en el periodo 1950-2020* [Tesis de Licenciatura en Meteorología] Universidad de Costa Rica. Repositorio SIBDI-UCR. <https://repo.sibdi.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/19573/1/47271.pdf>