

Climatología Aeronáutica 2005-2024 del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría

Diego Garro Molina¹, Adriana Mora Pérez²

Resumen

Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones operativas y de seguridad a cargo de las autoridades aeroportuarias, el Instituto Meteorológico Nacional pone a disposición del público el análisis de la climatología del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (cuyo código ICAO es MROC) durante el periodo 2005-2023, la cual comprende el análisis de las siguientes variables meteorológicas: temperatura absoluta y de rocío, temperaturas máximas y mínimas diarias, precipitación mensual y horaria, velocidad y dirección del viento horarias, actividad eléctrica horaria, visibilidad horizontal y vertical horarias. Se procesaron los datos incluidos en los reportes meteorológicos de aeródromo (METAR), los cuales cumplen con las normas internacionales del RAC-03 y ANEXO-III de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO por sus siglas en inglés).

PALABRAS CLAVES: RAC-03, ANEXO-III, ICAO, METAR, Climatología.

Abstract

With the aim of facilitating operational and security decision-making by airport authorities, the Instituto Meteorológico Nacional makes available to the public the analysis of the climatology of Juan Santamaría International Airport (with ICAO code MROC) during the period 2005-2023. This analysis comprises the following meteorological variables: absolute and dew point temperatures, daily maximum and minimum temperatures, monthly and hourly precipitation, hourly wind speed and direction, hourly electrical activity, and hourly horizontal and vertical visibility. The data included in aerodrome meteorological reports (METAR) were processed, which comply with the international standards of RAC-03 and Annex III of International Civil Aviation Organization (OACI).

KEY WORDS: RAC-03, ANEXO-III, ICAO, METAR, Climatology.

¹ Meteorólogo. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional.

² Meteoróloga. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional.

1. Introducción

Las condiciones meteorológicas juegan un rol importante en las operaciones aeronáuticas, influyendo en la seguridad, eficiencia y efectividad de las actividades relacionadas al transporte aéreo. La visibilidad reducida (asociada a niebla, nubosidad baja, tormenta), los fuertes vientos, las tormentas y las turbulencias son algunos de los principales fenómenos meteorológicos que afectan la seguridad de las operaciones aeronáuticas. Como mencionan Fultz y Ashley (2006), estos son responsables de 30% de los accidentes fatales en la aviación general en los Estados Unidos, lo que resalta la importancia de una adecuada preparación y gestión de las condiciones meteorológicas para las operaciones aeronáuticas.

La climatología, por su parte, permite conocer las condiciones meteorológicas normales de un lugar y periodo determinado (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2011), por lo que es esencial para una adecuada toma de decisiones operativas. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2018), contar con información climatológica de aeródromo permite a las autoridades aeronáuticas y a los usuarios la planificación operacional de manera eficiente, asegurando que los riesgos relacionados con fenómenos meteorológicos se gestionen de forma eficiente.

Con el fin de cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales que rigen los servicios meteorológicos aeronáuticos, la Dirección General de Aviación Civil (DGAC, 2020) establece que la autoridad meteorológica debe obtener la información climatológica necesaria para la planificación de las operaciones aeronáuticas, organizándola en tablas y resúmenes climatológicos de los aeródromos. En este contexto, la elaboración de la climatología aeronáutica del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AIJS) es fundamental.

El AIJS se emplaza en las coordenadas geográficas 09°59'38.0517" N, 84°12'31.8819" O, y se ubica en la República de Costa Rica, provincia de Alajuela, cantón Alajuela, distritos Guácima y Río Segundo (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), a una altura aproximada de 923 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.; DGAC, 2022). Su ubicación es

determinante, dado que se localiza próximo al centro social y económico del país, al encontrarse a 18 kilómetros al Noroeste de la capital San José y a 2 kilómetros al Sur de la ciudad de Alajuela. Debido a esta ubicación, el AIJS pertenece a la región climática del Valle Central, por lo que predominan las características de una región climática tropical lluvioso y seco (Solano Quintero y Villalobos Flores, 2001).

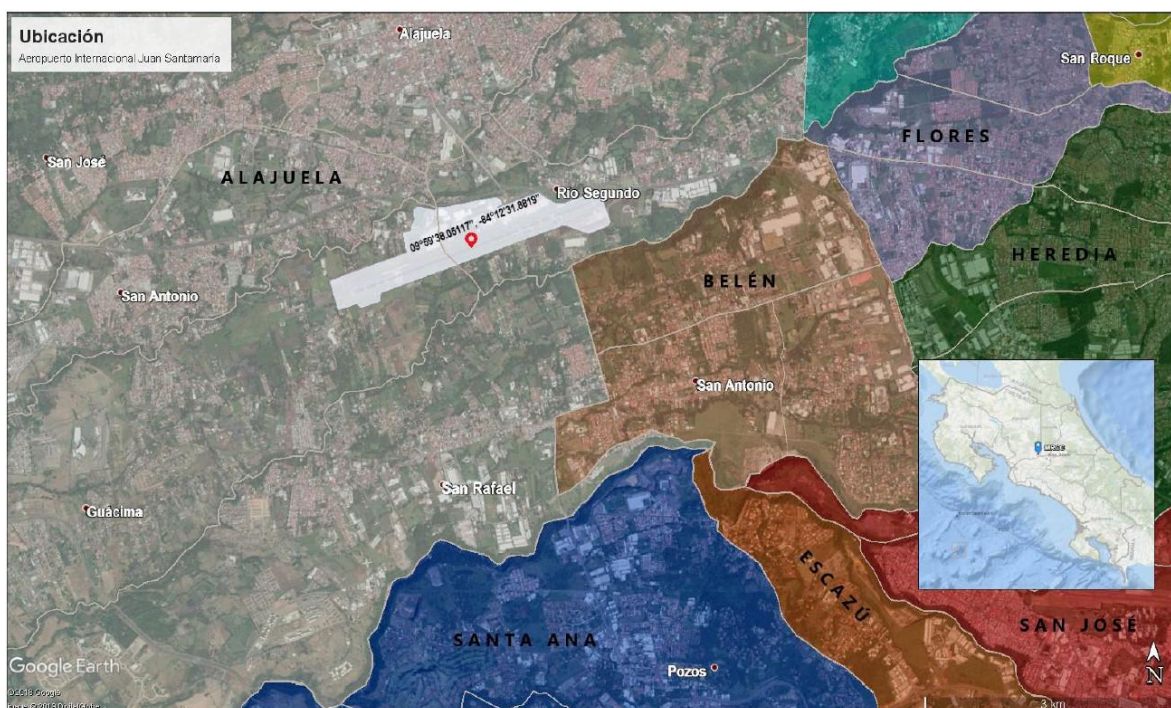


Figura 1. Ubicación del AIJS. Fuente: IMN.

Este documento tiene como objetivo analizar el comportamiento de las variables meteorológicas registradas en las observaciones meteorológicas de aeródromo (METAR) durante el periodo 2005-2024 del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AIJS). Las variables para la elaboración de estas observaciones son obtenidas por medio de las Estaciones Meteorológicas Aeronáuticas (EMAs) y el Sistema Automatizado de Observación Aeronáutica (AWOS) instaladas en el aeródromo, que se complementan con las observaciones realizadas por el personal presente en la Oficina de Meteorología Aeronáutica (OMA) de dicho aeródromo.

2. Climatología de la región.

El AIJS forma parte del régimen de precipitaciones y temperaturas Pacífico, que se caracteriza por tener una estación seca y una estación lluviosa bien definidas. Esto como consecuencia de ubicarse en el sector occidental de la Región Central del Valle Central, en la zona que es más baja, cálida y lluviosa en relación con la Región Oriental (Solano Quintero & Villalobos Flores, 2001).

La estación seca se extiende desde diciembre hasta marzo, éste último, el mes más seco y cálido del año. Abril es un mes de transición hacia la época lluviosa, la cual inicia formalmente en la segunda quincena del mes de mayo, por lo general. El periodo húmedo se extiende hasta octubre, y en noviembre se da la transición hacia la época seca. Durante los meses de julio y agosto se presenta una disminución relativa en la cantidad de precipitaciones, lo cual se conoce popularmente como veranillo o canícula (Solano León, 2015) y es cuando se intensifica la velocidad de los vientos alisios en el país. Los meses más lluviosos son setiembre y octubre debido principalmente a sistemas ciclónicos, vientos monzónicos provenientes del Océano Pacífico ecuatorial y las brisas marinas, que son responsables de las lluvias intensas debido a su interacción con las barreras orográficas (Muñoz et al., 2002).

3. Metodología

Según las recomendaciones de [OACI] 2018, el periodo de datos analizado es de 20 años, entre el 2005 y el 2024 inclusive, durante los cuales se recolectaron los reportes meteorológicos aeronáuticos o METAR, acrónimo proveniente del francés Météorologique Aviation Régulière, que son emitidos cada hora por OMA del AIJS. De este modo se registraron datos horarios, los 365 días del año desde las 0000 UTC hasta las 2300 UTC. Los datos extraídos de los METAR son:

- Visibilidad

- Tiempo presente
- Nubosidad
- Temperatura
- Temperatura del punto de rocío
- Presión atmosférica

Los datos se descargan de los METAR desde el sitio web www.ogimet.com por medio del módulo de Python get-metars 0.5.2 (Vindas Morán & Garro Molina, 2024), por medio del cual estos informes se descargan y almacenan en archivos de texto lo que permite una más fácil manipulación y procesamiento.

Adicionalmente, los datos de precipitación diaria, temperatura máxima y temperatura mínima son extraídos de las EMA del IMN emplazadas en el AIJSM, la cual cuenta con datos desde el año 2010 hasta el 2024.

Después de tener los datos corregidos y verificados, se aplican técnicas estadísticas para el análisis de la información, se obtienen valores típicos horarios, diarios y mensuales, lo que permite generar gráficos que representan la tendencia de las diferentes variables durante el periodo de estudio.

4. Resultados

En el cuadro 1 se muestra el resumen de las variables meteorológicas en el AIJS por mes y en la figura 2 se presenta el climograma asociado a las mismas variables. Cabe indicar que los valores del cuadro 1 corresponden a promedios mensuales, excepto para las temperaturas extremas, que son valores absolutos. La temperatura máxima extrema se presenta en el mes de abril y la temperatura mínima extrema en enero. Los meses que

presentan mayores montos de precipitación son setiembre y octubre con 350.3 y 330.3 mm respectivamente, así como la mayor cantidad de días con lluvia con 26 días para ambos meses. En el AIJS se registra un total de 185 días con lluvia al año, en promedio, así como 1977.7 mm de precipitación anual.

Cuadro 1. Resumen de variables meteorológicas, AIJS 2010-2024. Fuente: Elaboración propia.

Mes	Temperatura máxima extrema (°C)	Temperatura mínima extrema (°C)	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura mínima media (°C)	Precipitación total media (mm)	Media de días con precipitación
Enero	31.6	13.3	30.7	15.9	3.9	3
Febrero	33.9	14.3	31.8	15.6	7.7	2
Marzo	34.3	14.7	32.5	16.4	16.1	3
Abril	36.1	15.2	33.1	16.6	122.2	10
Mayo	32.8	14.4	31.6	17.1	248.8	21
Junio	31.9	16.7	31.0	17.4	284.2	23
Julio	32.2	15.7	31.0	17.2	181.6	20
Agosto	32.1	16.5	30.9	17.0	226.3	22
Setiembre	31.7	16.0	30.7	17.0	350.3	26
Octubre	31.5	15.6	30.5	16.8	330.3	26
Noviembre	31.6	14.9	29.9	16.4	172.9	20
Diciembre	32.4	14.8	30.3	16.4	33.4	9
Anual	36.1	13.3	31.2	16.7	1977.7	185

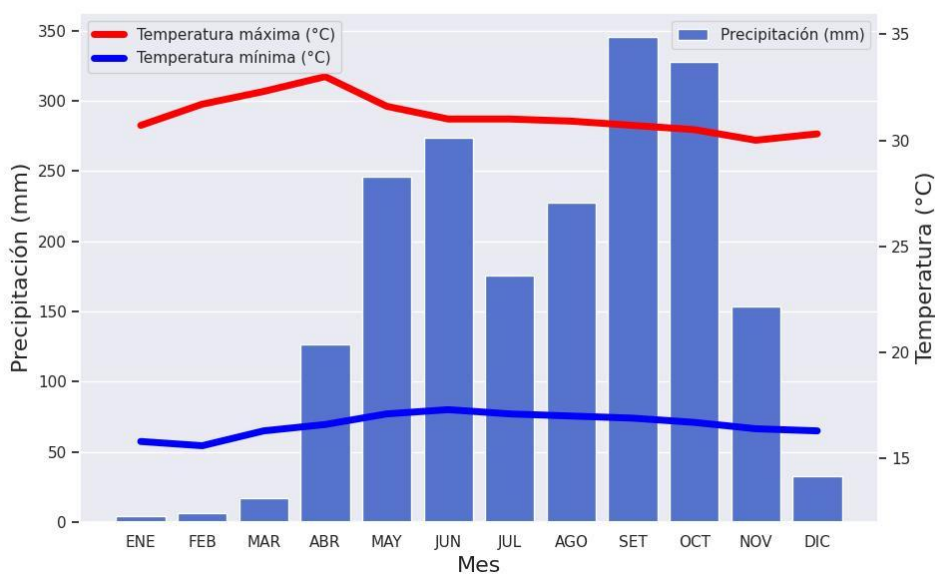


Figura 2. Climograma del AIJS 2010-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.1. Viento

El viento es el movimiento del aire respecto de la superficie terrestre, al ser una magnitud vectorial, debe constar de dirección y velocidad (Agencia Estatal de Meteorología [AEMET], 2023). Se entiende por dirección la orientación desde donde viene el viento (Manso Sayao y Vargas Vera, 1990).

4.1.1. Dirección del viento

La Figura 3 muestra el comportamiento general de la dirección del viento para cada mes del año durante las horas de operación del AIJS. Durante las horas de la madrugada entre las 00:00 y las 07:00 hora local (TL), el viento predominante es del este. Entre mayo y noviembre, desde media mañana (09:00 TL) y hasta el final de la tarde (18:00 TL), predominan vientos del sur y suroeste. La dirección del viento entre diciembre y mediados de abril corresponde a vientos del este, dirección propia de los vientos alisios que se aceleran durante el invierno boreal, producto del arribo de sistemas frontales al Mar Caribe y el norte de Centroamérica (Chinchilla et al., 2016).

En la Figura 4 se muestra la variación horaria de la dirección del viento en el AIJS. El viento suele provenir del este y noreste durante la noche, madrugada y primeras horas de la mañana, y tiende a variar su dirección a vientos del sur cerca de las 09:00 TL, lo que prevalece hasta las primeras horas de la noche.

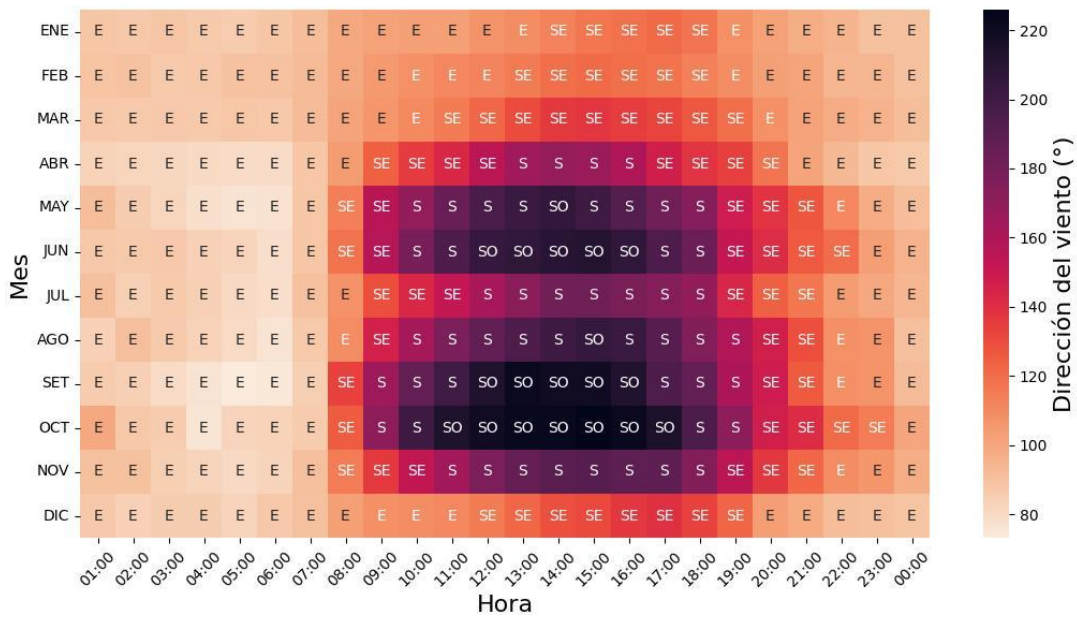


Figura 3. Mapa de calor mensual durante las horas de operación del AIJS (eje horizontal) para la dirección del viento, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

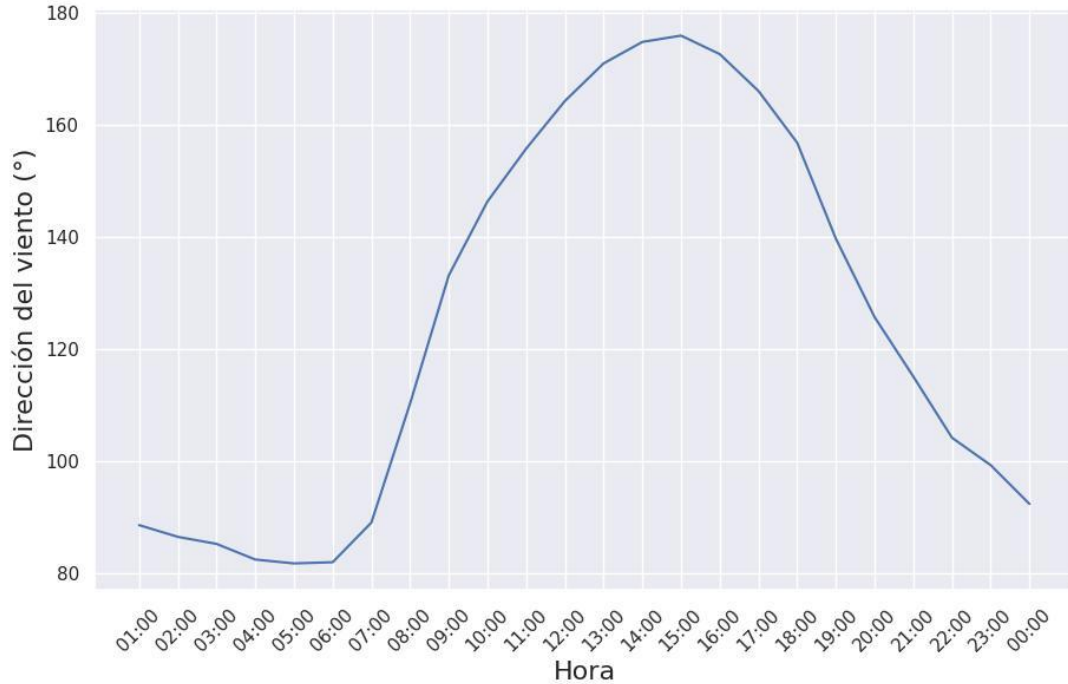


Figura 4. Variación horaria de la dirección del viento en el AIJS, 2002-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Velocidad del viento

En el ámbito de la meteorología aeronáutica usualmente se representa la velocidad del viento en nudos (kt), donde según Vigiak et al, 2003:

$$1 \text{ kt} = 0.515 \text{ m/s} = 1.853 \text{ km/h}$$

En la Figura 5 se representa el promedio mensual de la velocidad del viento a lo largo del año en el AIJS. Los meses de diciembre a marzo se caracterizan por ser los más ventosos, mientras que en abril se observa una clara disminución en la intensidad de los vientos, tendencia que se mantiene hasta el mes de junio. En julio, los vientos alisios se aceleran ligeramente debido a la canícula. Se da una segunda disminución a partir de agosto, hasta llegar a un mínimo en la velocidad del viento en el mes de octubre. Durante el día (ver Figura 6), el comportamiento de la velocidad del viento en el AIJS indica que hay un máximo a las 13:00 TL, mientras que el mínimo se presenta cerca de las 19:00 TL.

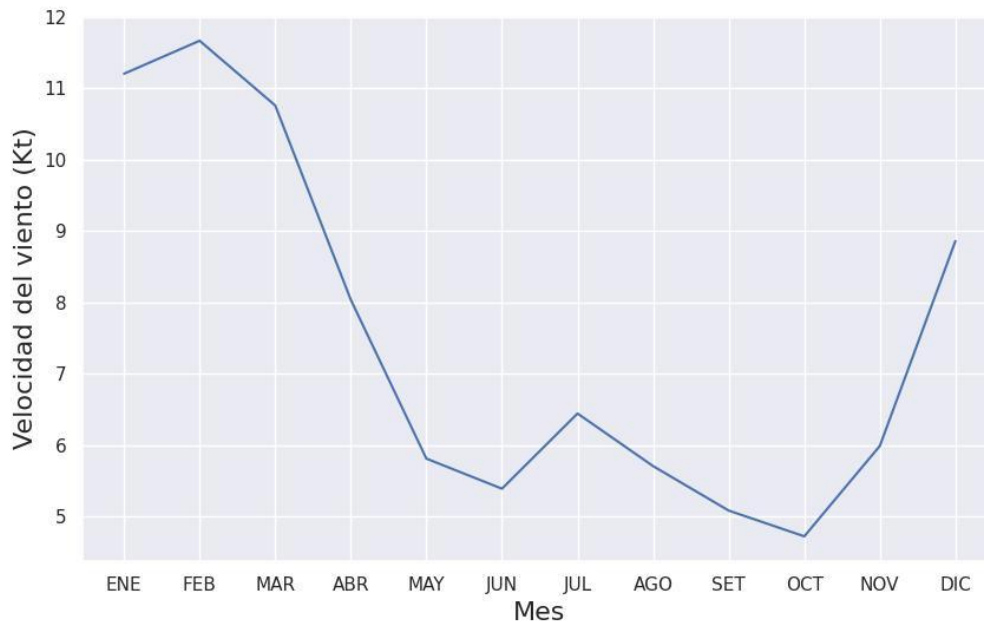


Figura 5. Variación mensual de la velocidad del viento en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

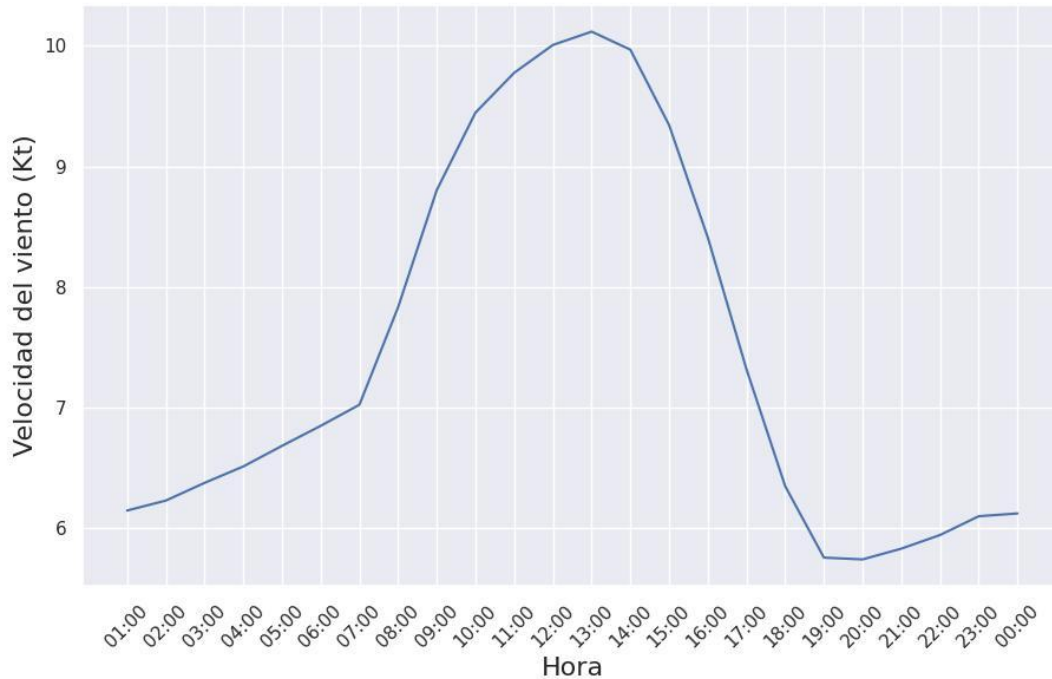


Figura 6. Variación horaria de la velocidad del viento en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Ráfagas de viento

Desde el punto de vista aeronáutico, se tiene que las ráfagas de viento son las variaciones respecto a la velocidad media del viento durante los últimos 10 minutos y se reportan cuando éstas exceden en 10 kt a la velocidad media (OACI, 2018). Se puede observar en la Figura 7, que al igual que ocurre con la velocidad del viento (Figura 5) los valores máximos de las ráfagas de viento se dan entre diciembre y abril, con máximos relativos en los meses de febrero y julio. Mientras que los mínimos relativos ocurren en junio y octubre, que es cuando los vientos del oeste tienden a presentarse en el AIJS como se vio anteriormente en la Figura 2 y según los datos registrados estos vientos presentan poca ocurrencia de ráfagas.

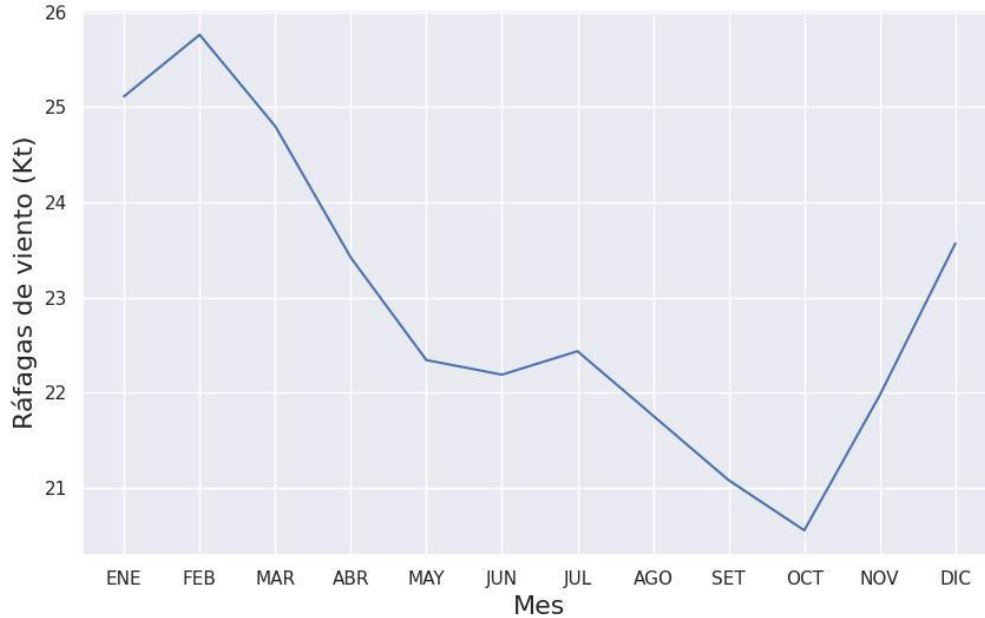


Figura 7. Variación mensual de las ráfagas de viento en el AIJS, 2005-2023. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se presenta la ocurrencia de ráfagas por mes, divididas en cuatro rangos de acuerdo con las observaciones realizadas en el AIJS. Los valores de ráfagas de viento que más se registran en el aeródromo corresponden al rango de 20 a 29 kt, lo cual ocurre primordialmente entre diciembre y abril y durante el periodo canicular, en julio y agosto. Las ráfagas de viento entre 30 y 39 kt se presentan en menor medida, mientras que las ráfagas de 40 kt no tienden a observarse en el AIJS.

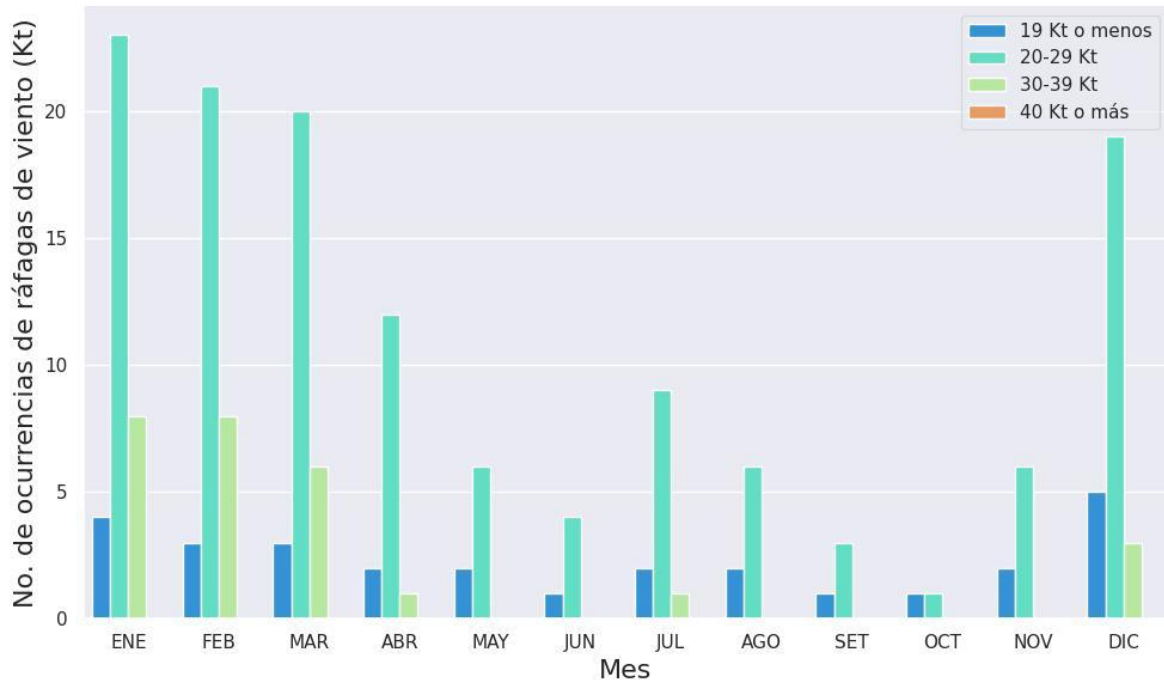


Figura 8. Valor medio de ocurrencia de ráfagas de viento por mes, divididas en cuatro rangos: menores a 20 kt (azul), entre 20 y 29 kt (turquesa), entre 30 y 39 kt (verde) y de 40 kt o más (naranja), en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.2. Temperatura

Para efectos de esta climatología se analizan las variables de la temperatura media del aire y la temperatura del punto de rocío.

4.2.1. Temperatura media

Durante el mes de abril las temperaturas tienden a ser muy elevadas en el AIJS, ya que, hay poca humedad en la atmósfera, los vientos alisios tienden a debilitarse, aún no se establece la época lluviosa por lo que aún hay pocas nubes y, por ende, mucha radiación solar (Alfaro et al., 2012). La temperatura media mensual más baja se da en octubre (ver Figura 9), uno de los meses más lluviosos del año según el Cuadro 1, ya que, las temperaturas tienden a disminuir durante los eventos formación nubosa, así como en eventos de precipitación intensa (Marín et al, 2005).

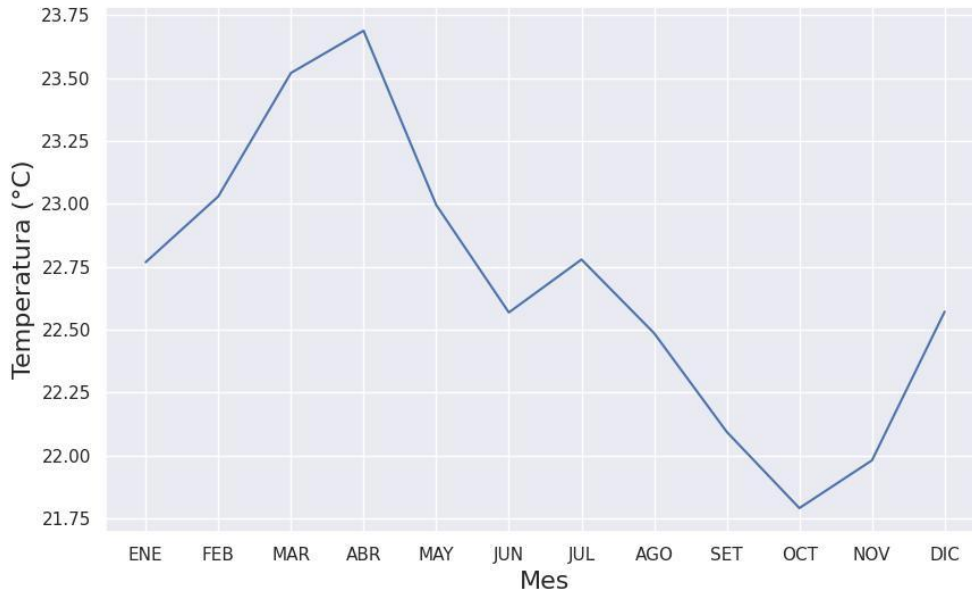


Figura 9. Variación mensual de la temperatura media para el AIJS. 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

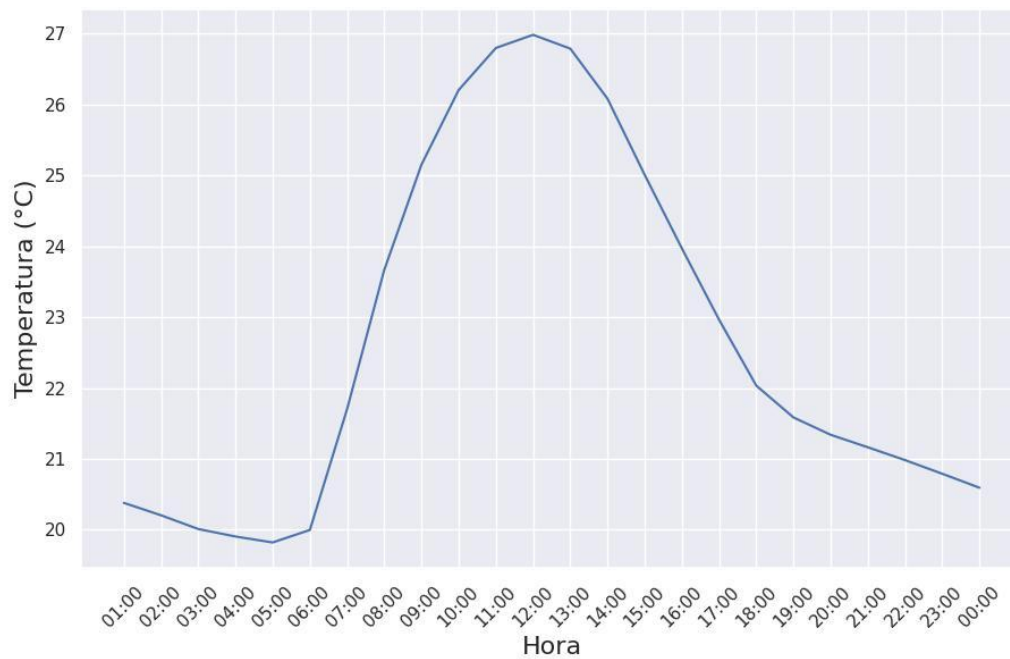


Figura 10. Variación horaria de la temperatura media durante las horas de operación en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se presenta el valor medio de la temperatura durante las horas de operación del AIJS. El valor máximo se alcanza aproximadamente a las 12:00 TL, momento en el que el Sol se encuentra en el punto más alto en el cielo. Por otro lado, las temperaturas más bajas se registran cerca de las 05:00 TL.

4.2.2. Temperatura del punto de rocío

La temperatura del punto de rocío media mensual presenta dos máximos relativos al año en el AIJS, el primero en el mes de junio cuando recién se ha establecido la época lluviosa en la región central del país, y el segundo durante los meses más lluviosos del año, setiembre y octubre (ver Cuadro 1). Se refleja también en esta tendencia el periodo canicular en el mes de julio, cuando las precipitaciones se ven reducidas debido al aceleramiento de los vientos alisios en la región, discutido en secciones anteriores, lo cual favorece un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical. Los valores más bajos de la temperatura del punto de rocío se presentan entre diciembre y abril, correspondientes a los meses de la época seca en el AIJS.

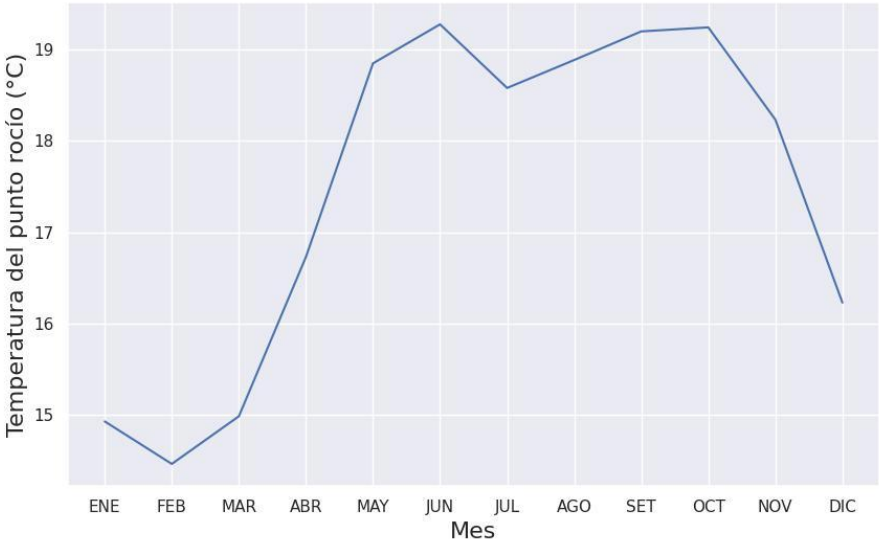


Figura 11. Variación mensual de la temperatura del punto de rocío media en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 muestra el valor medio horario de la temperatura del punto de rocío. Es claro el comportamiento del ciclo diurno, en el cual disminuye la temperatura del punto de rocío desde las primeras horas de la noche hacia la madrugada, hasta alcanzar su valor mínimo a las 06:00 TL. En general, los valores más altos de esta variable ocurren entre las 15:00 y las 17:00 TL.

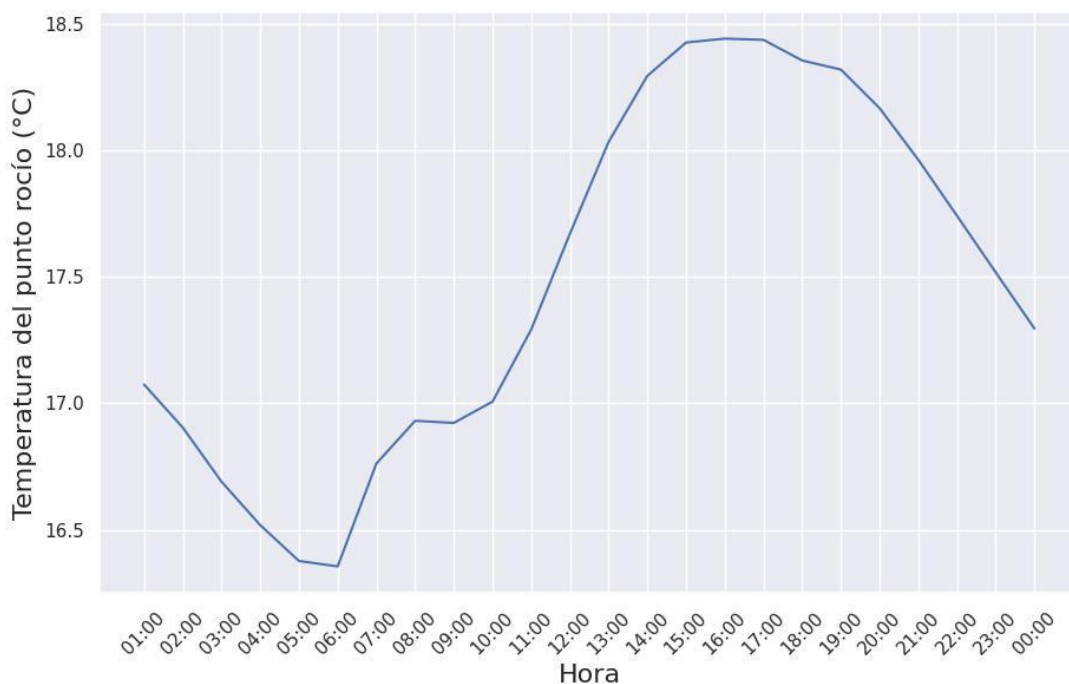


Figura 12. Variación horaria de la temperatura del punto de rocío media en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Presión atmosférica

Los aeropuertos internacionales de Costa Rica reportan la presión al nivel del mar (QNH) en unidades de pulgadas de mercurio (inHg). La variación de la presión a lo largo del año es irregular en el AIJS, e influenciada externamente por factores o sistemas de gran escala como empujes fríos, ciclones tropicales y sistemas de baja presión (Chinchilla et al., 2016 y Alfaro y Hidalgo, 2021) como se puede apreciar en la Figura 13. La presión atmosférica se

mantiene alrededor de 29.99 inHg desde enero hasta octubre, pero en noviembre disminuye notablemente hasta alrededor de 29.97 inHg.

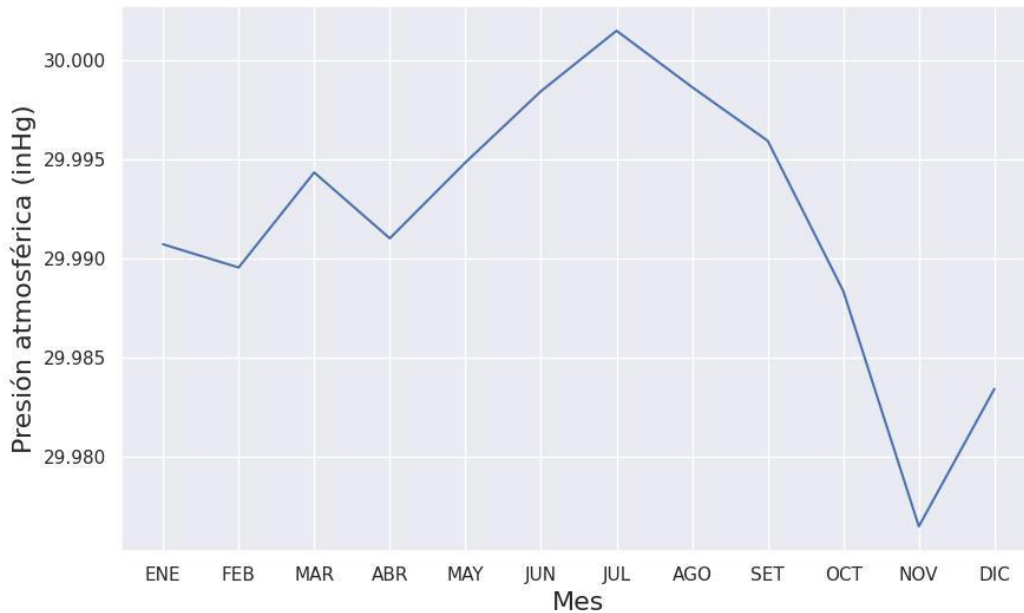


Figura 13. Variación mensual de la presión (QNH) media en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20 se presentan los valores medios horarios de la presión atmosférica en el AIJS. Se denotan dos máximos y dos mínimos, por lo que presenta un comportamiento semidiurno. Resalta en la figura como el mínimo relativo de la tarde tiende a ser menor que el de la madrugada, lo cual se puede atribuir al calentamiento diurno que vuelve el aire menos denso y ejerce menor peso sobre la superficie (Vieira Agudelo y Poveda Jaramillo, 2002). En cambio, los máximos relativos no presentan diferencias importantes debido a las horas en las que ocurren, durante la mañana aún no se han establecido temperaturas altas y por la noche la temperatura ha disminuido considerablemente (Figura 10; Marín et al, 2005).

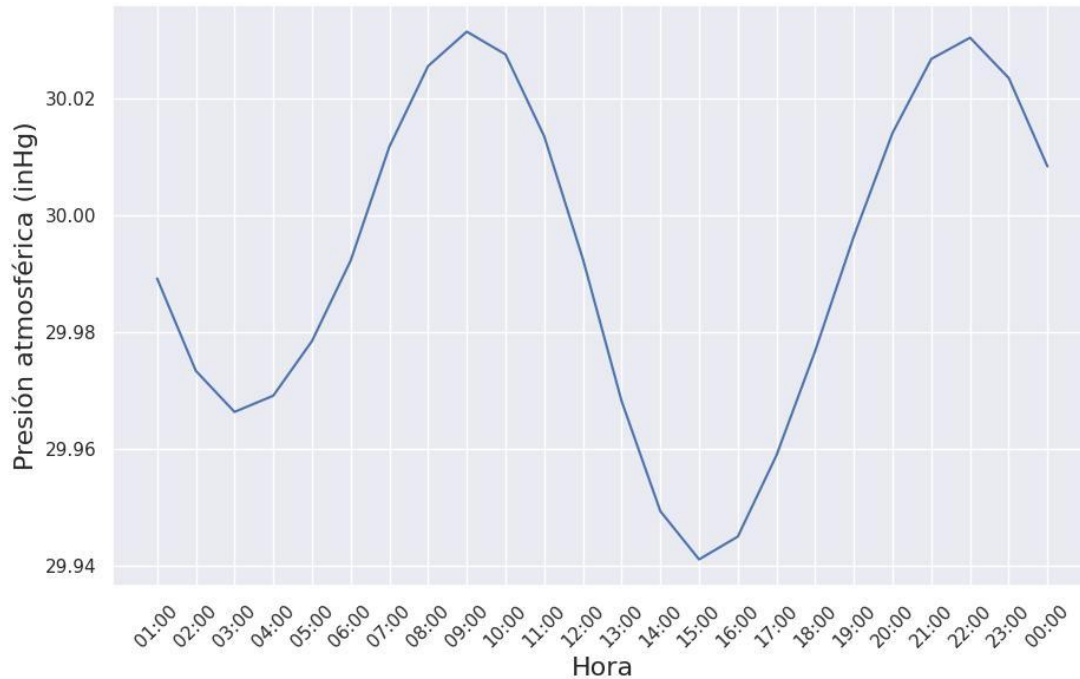


Figura 14. Variación horaria de la presión atmosférica (QNH) media en el AIJS, 2005-2024.

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Hidrometeoros

Para efectos de esta climatología, se analizarán únicamente los hidrometeoros de precipitación y los de suspensión.

4.4.1. Hidrometeoros de precipitación

Los hidrometeoros de precipitación que se analizarán corresponden a llovizna (DZ), lluvia (RA), chubasco de lluvia (SHRA), además de la tormenta (TS) (OMM, 1993). En la figura 15 se muestra la cantidad de días en los cuales se observaron los diferentes tipos de precipitación en el AIJS, para lo cual, se toma como día con precipitación del tipo especificado si se observó al menos en una ocasión. La lluvia es el tipo de precipitación más común en el aeródromo, mientras que los chubascos de lluvia son los que menos se observan. Se denota claramente en esta figura el periodo canicular correspondiente a los meses de julio y agosto (Alfaro, 2014), periodo en el cual se reduce la cantidad de eventos

de precipitación en el AIJS con respecto a los otros meses de la época lluviosa que abarca desde mayo hasta octubre.

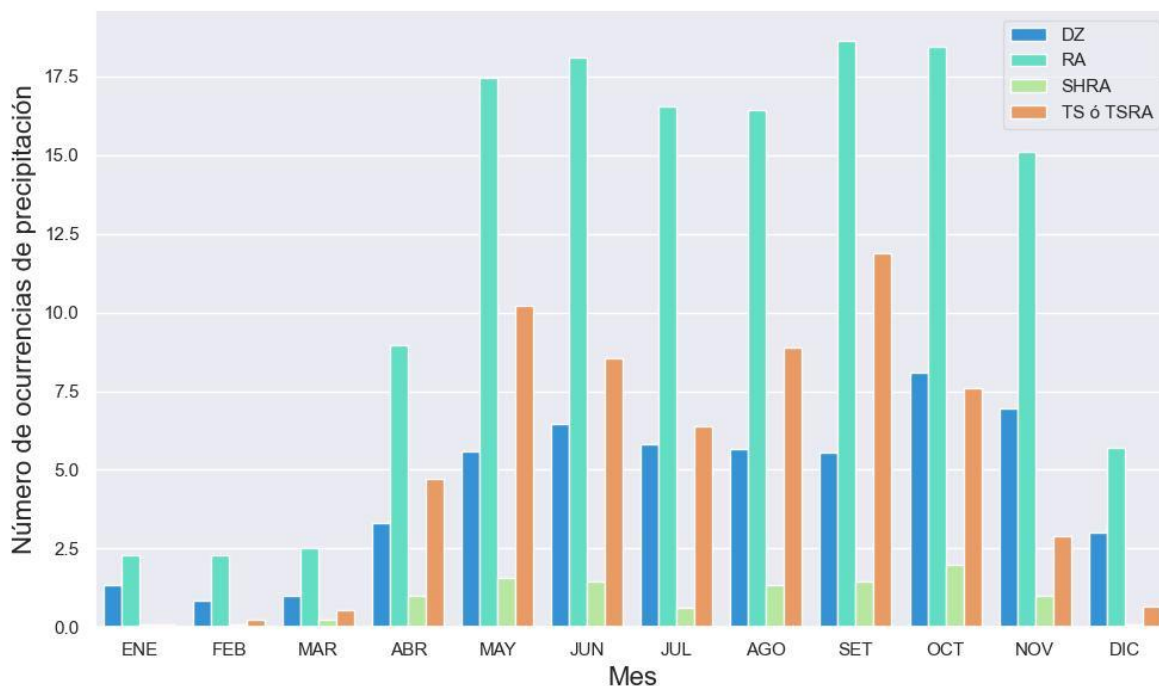


Figura 15. Valores mensuales medios de días con los diferentes tipos de precipitación (DZ: llovizna, RA: lluvia, SHRA: chubasco de lluvia, TS o TSRA: tormenta eléctrica con precipitación o sin ella) que se reportan en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.1. Tormenta eléctrica (TS o TSRA)

En el AIJS los reportes de tormenta eléctrica son prácticamente nulos de enero a marzo, en abril se reportan alrededor de cinco casos en promedio, mientras que a partir de mayo la cantidad de reportes se encuentra entre 7.5 y 12 eventos mensuales, excepto julio que presenta 6 casos de tormenta eléctrica en promedio (ver figura 15). Este periodo corresponde con los meses donde la humedad relativa es mayor en el aeródromo.

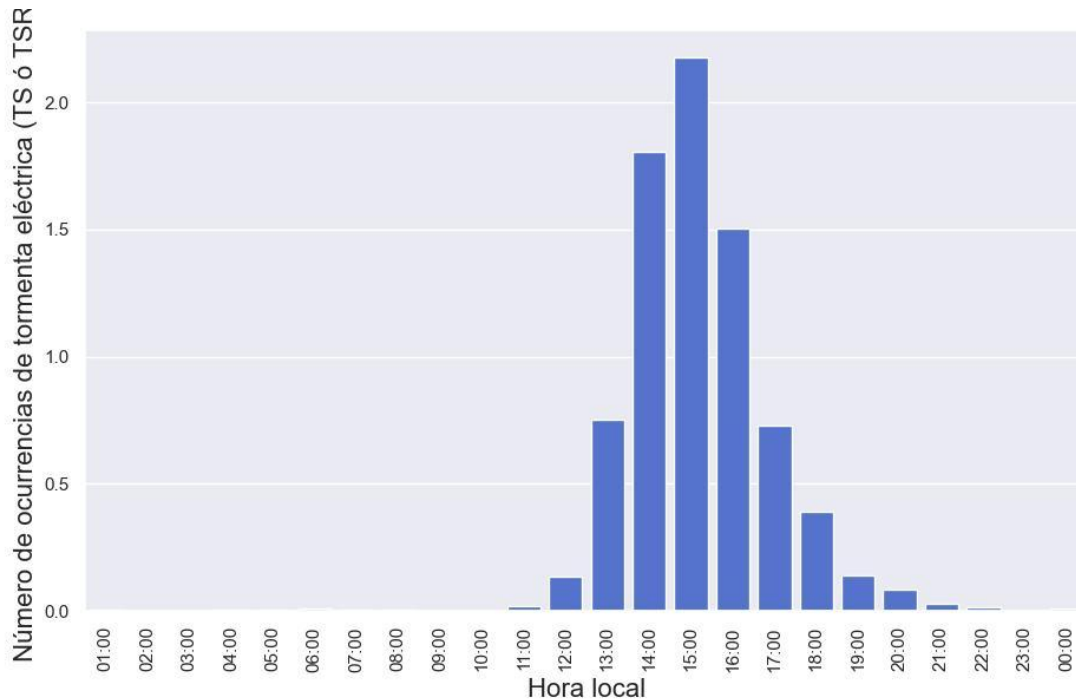


Figura 16. Valores mensuales medios de reportes con tormenta eléctrica (TS o TSRA) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

Por lo general, se presenta tormenta eléctrica en el aeródromo durante la época lluviosa como lo muestra la figura 15, y en horas de la tarde como se aprecia en la figura 16, con una mayor cantidad de reportes a las 15:00 horas. Esto se debe al aumento en la humedad (figura 10 y 11), que con el calentamiento matutino propicia la convección profunda y el desarrollo de nubes de gran alcance vertical o cumulonimbus para horas de la tarde, nubes que generan las tormentas eléctricas reportadas en el AIJS.

4.4.1.2. Chubascos de lluvia o aguaceros (SHRA)

En la figura 15 se puede apreciar la cantidad de días en los cuales se reporta en al menos una ocasión chubascos de lluvia en el AIJS. Como es de esperar al igual que con los reportes de tormenta eléctrica, éstos se presentan entre los meses de mayo y noviembre particularmente, aunque son los menos comunes entre los tipos de precipitación

observados en el aeródromo, muestran un comportamiento similar, con una disminución notable en la cantidad de eventos durante julio, debido al periodo canicular.

La figura 17 presenta la cantidad de reportes media mensual durante el horario de operación del AIJS. Se muestra una distribución similar a los eventos de tormenta eléctrica, aunque con una cantidad de reportes mucho menor como se mencionó antes, la mayor cantidad de ocurrencias de chubascos es a las 15:00 horas.

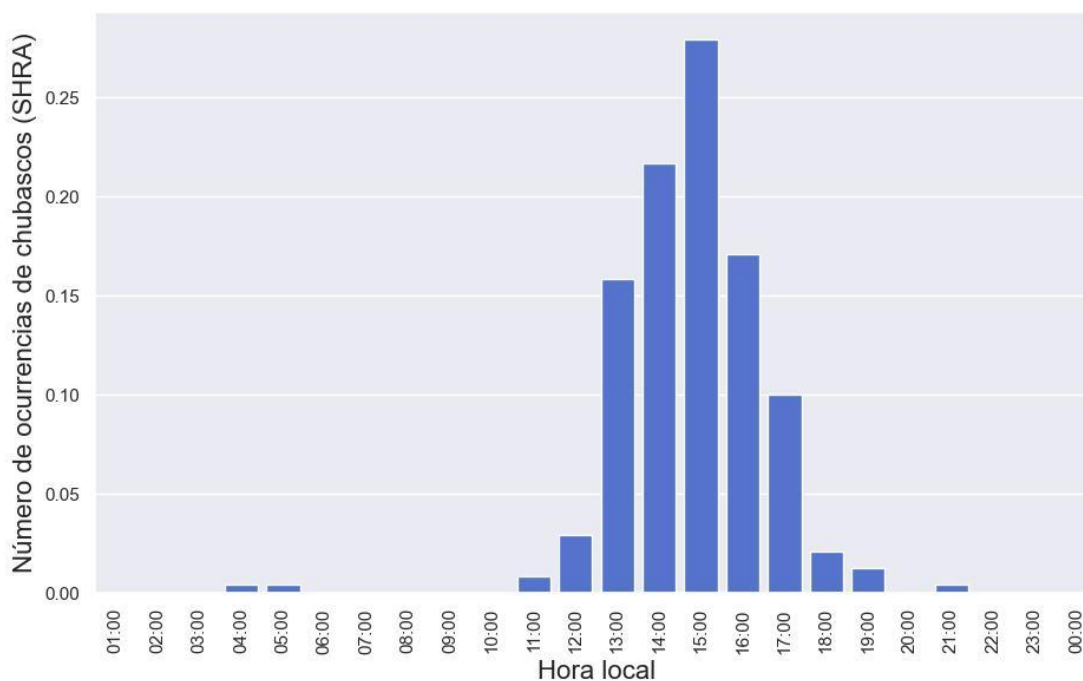


Figura 17. Valores mensuales medios de reportes con chubascos (SHRA) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.3. Lluvia (RA)

Las observaciones de lluvia en el AIJS son mucho más comunes que el resto de los tipos de precipitación presentadas en este trabajo, como se mostró en la figura 15. La mayor cantidad de eventos de lluvia ocurren entre los meses de mayo y noviembre, con 15 días o más con lluvia. Mientras que enero, febrero y marzo son los meses que menos reportes presentan con menos de 3 días con lluvia en promedio.

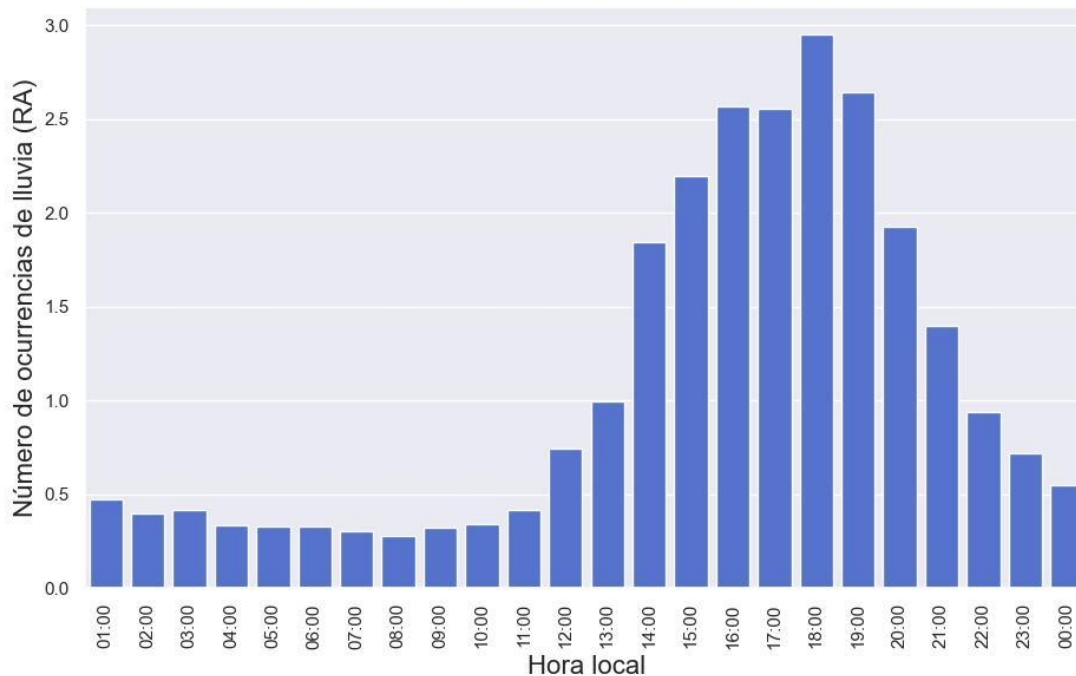


Figura 18. Valores mensuales medios de reportes con lluvia (RA) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 18 se muestran los valores medios mensuales durante el horario de operación del AIJS, donde se denota que, durante horas de la tarde y primeras horas de la noche, entre las 14:00 y 21:00 es cuando más reportes de lluvia se presentan en el aeródromo.

4.4.1.4. Llovizna (DZ)

Las ocurrencias de llovizna en el AIJS son más comunes en los meses de la época lluviosa, desde mayo hasta noviembre, sin embargo, un número importante de reportes de llovizna se dan también en abril y diciembre como lo muestra la figura 15. La mayoría de los reportes de llovizna se presentan durante la segunda mitad de la tarde y en la noche como se denota en la figura 19, con un máximo de ocurrencias a las 19:00 horas.

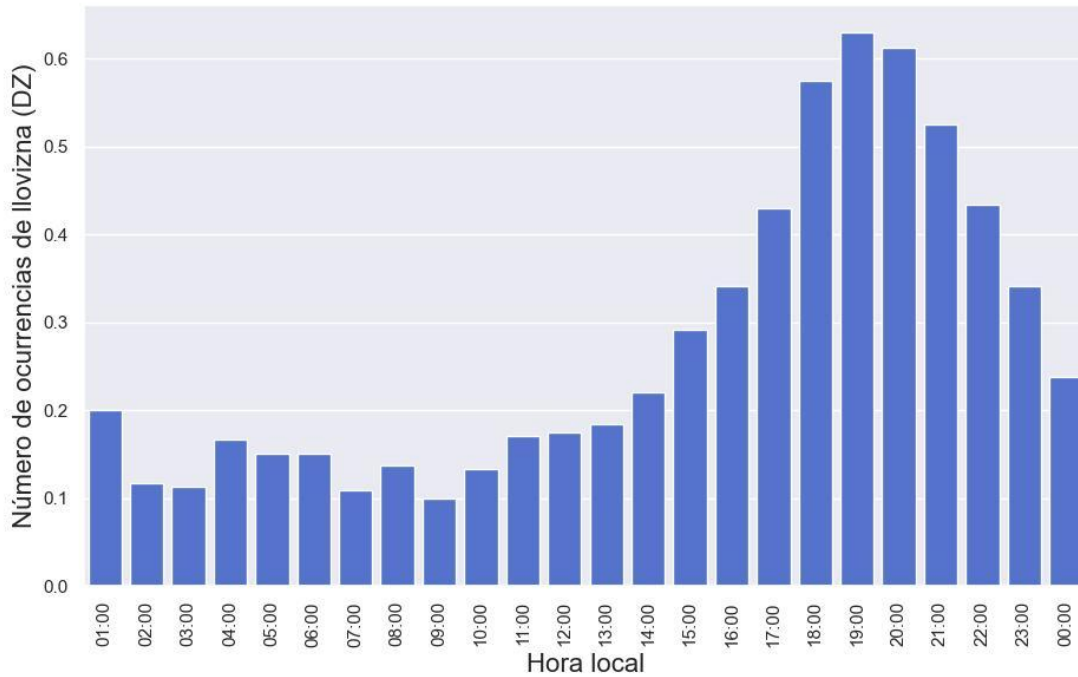


Figura 19. Valores mensuales medios de reportes con llovizna (DZ) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Hidrometeoros de suspensión

Los hidrometeoros de suspensión son partículas suspendidas en la atmósfera como la niebla o neblina (OMM, 1993). En la figura 20 se muestra la cantidad de días media en los cuales se reportan hidrometeoros de suspensión en el AIJS. Como es de esperar, durante los meses de la época lluviosa entre mayo y noviembre, debido al incremento de humedad se dan las condiciones ideales para la formación de niebla y neblina en el aeródromo.

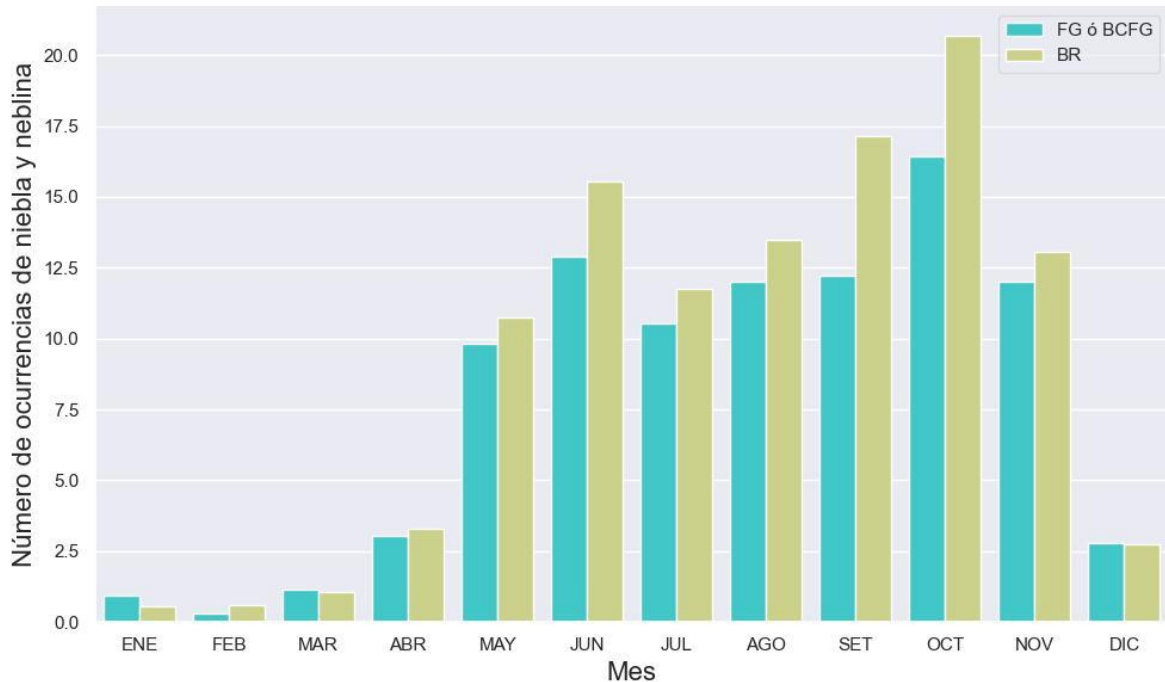


Figura 20. Valores mensuales medios de días con los diferentes tipos de hidrometeoros de suspensión (FG o BCFG: niebla o niebla en bancos, BR: neblina) que se reportan en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.1. Niebla

Según OACI (2018), la niebla restringe la visibilidad a menos de mil metros, lo que afecta las operaciones aeroportuarias. La figura 21 indica que la niebla se hace presente desde el final de la tarde hasta las primeras horas de la mañana en el AIJS principalmente, mientras que alrededor del mediodía se dan pocos eventos de este hidrometeoro de suspensión.

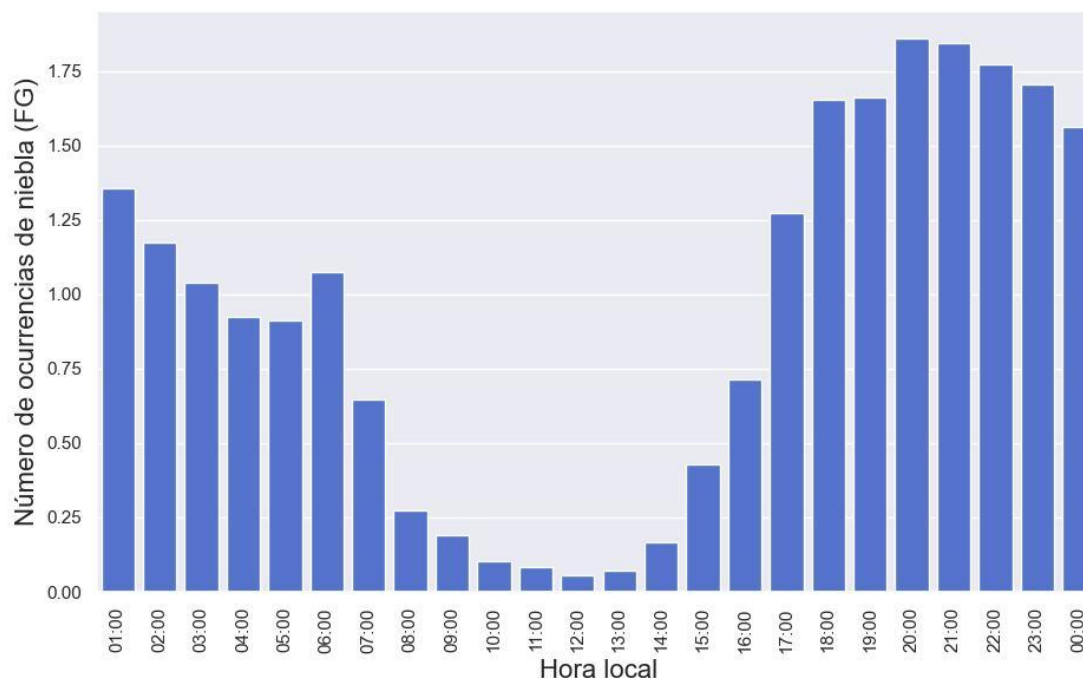


Figura 21. Valores mensuales medios de reportes con niebla (FG o BCFG) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2. Neblina

La neblina, la cual restringe la visibilidad entre mil y menos de cinco mil metros (OMM, 2017 y OACI, 2018), es más común que la niebla en el AIJS, la cual se registra desde mayo hasta noviembre y presenta un número de ocurrencias ligeramente mayor que los casos de niebla y bancos de nieblas. Los eventos de neblina en el AIJS ocurren por lo general durante horas de la tarde, noche y madrugada con un máximo de ocurrencias a las 17:00 y son menos comunes entre las 08:00 y las 13:00 horas (ver figura 22).

La presencia de restricciones de visibilidad por causa de hidrometeoros de suspensión como la neblina, bancos de niebla y niebla está muy relacionada con la ocurrencia del viento de dirección suroeste (figura 3), así como los altos contenidos de humedad durante la época lluviosa en la estación (figura 11).

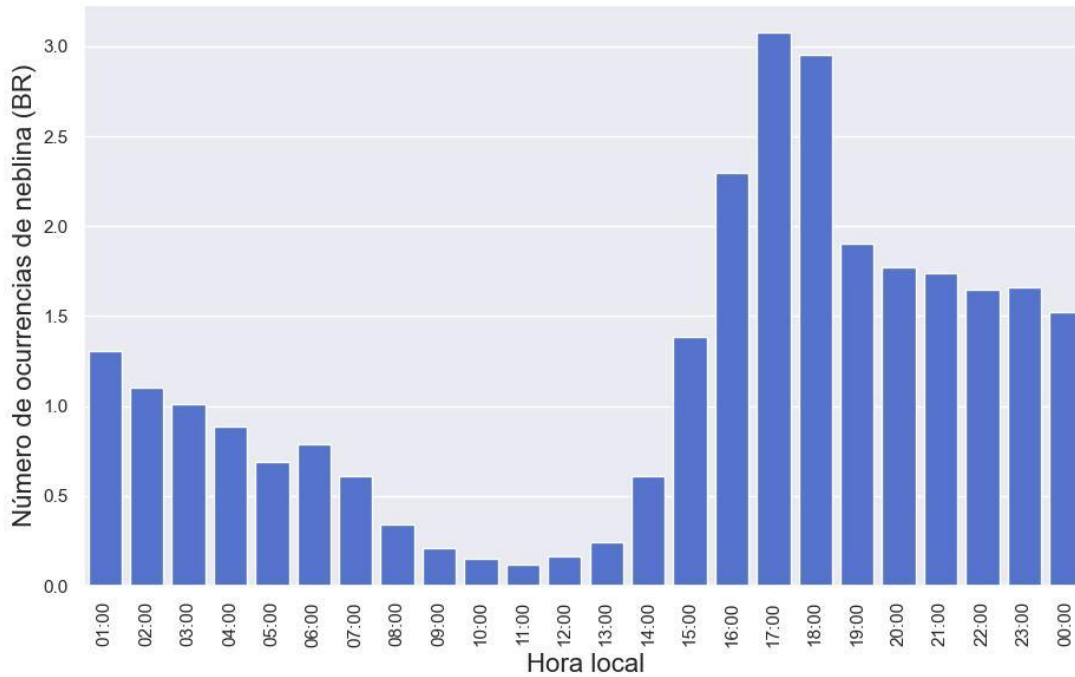


Figura 22. Valores mensuales medios de reportes con neblina (BR) durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

4.5. Visibilidad

OACI (2018) clasifica la visibilidad en horizontal y vertical; por lo tanto, para efectos de esta climatología, se analizarán ambos casos.

1.4.1. Visibilidad Horizontal

En la figura 23 se muestra la cantidad mensual media de días con al menos un reporte de visibilidad horizontal o reinante reducida a menos de 5000 metros, así como su frecuencia de ocurrencia. La mayor cantidad de reportes se producen en octubre, mes que cuenta con la mayor cantidad de días con lluvia según el Cuadro 1. Los meses en los que se observa menor cantidad de ocurrencias de visibilidad restringida abarcan desde diciembre hasta abril, cuando las precipitaciones y eventos de oscurecimiento como la niebla y neblina son menos frecuentes, como se vio anteriormente en las secciones correspondientes.

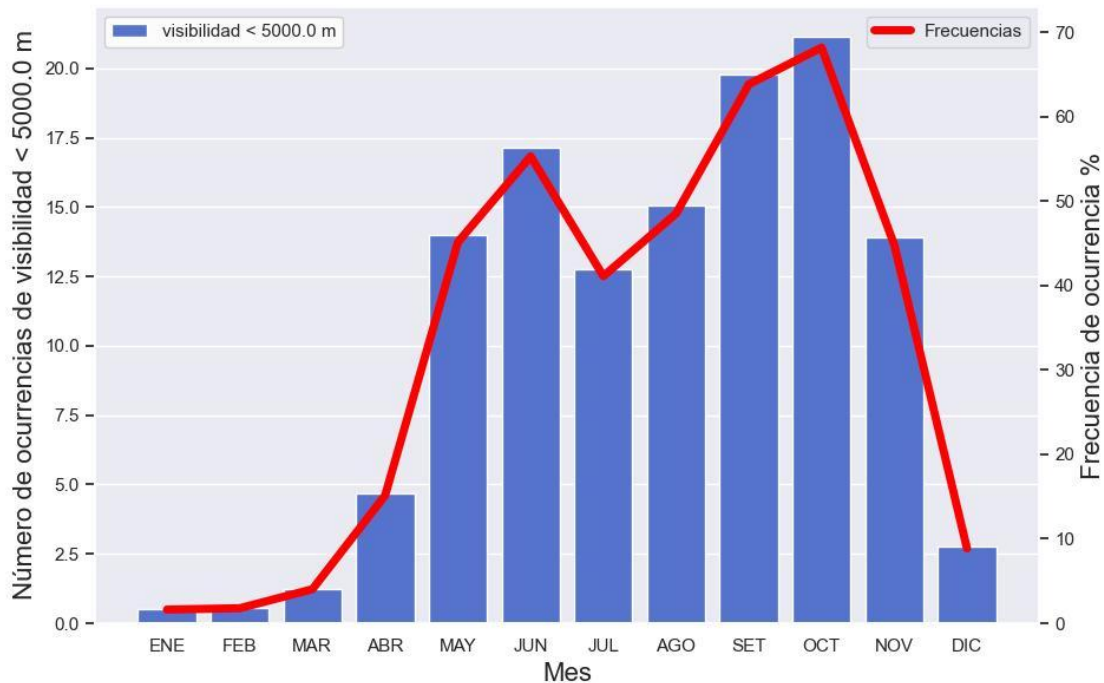


Figura 23. Valores medios de días con al menos un reporte de visibilidad horizontal menor a 5000 metros y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

La ocurrencia de eventos de visibilidad restringida presenta un mayor número de eventos en horas de la tarde y la noche según la figura 24, en donde se muestran los valores medios mensuales de ocurrencias de visibilidad horizontal menor a 5000 metros. Nótese que el valor máximo de ocurrencias de visibilidad horizontal restringida se da a las 17:00 horas, mientras que la menor cantidad de eventos se presenta entre las 09:00 y las 12:00 horas.

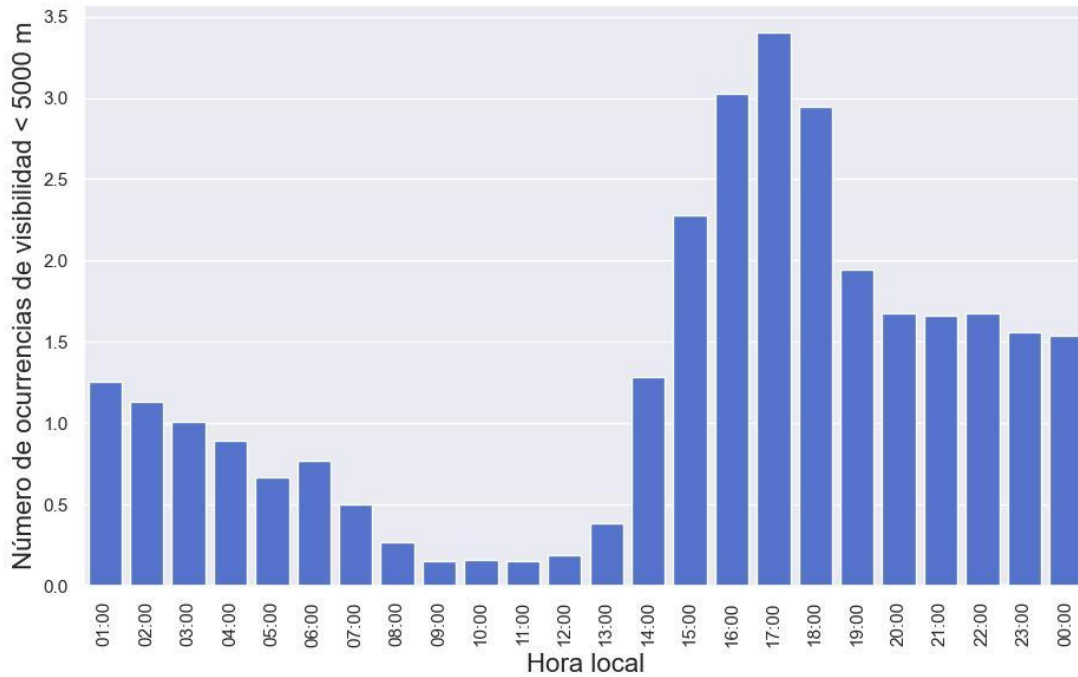


Figura 24. Valores mensuales medios de reportes con visibilidad menor a 5000 metros durante el horario de operación del aeropuerto. Fuente: Elaboración propia.

1.4.2. Visibilidad vertical

Para efectos de este estudio, la visibilidad vertical corresponde a la altura de la base de las nubes y se expresa en pies (ft). Se considera un techo nuboso cuando la capa nubosa sobre el aeródromo cubre cinco octas (cinco octavos) o más del cielo, y si este techo nuboso cuenta con una altura de la base de las nubes igual o inferior a 1500 pies, se considera como visibilidad vertical restringida que limita las operaciones aeronáuticas (DGAC, 2020).

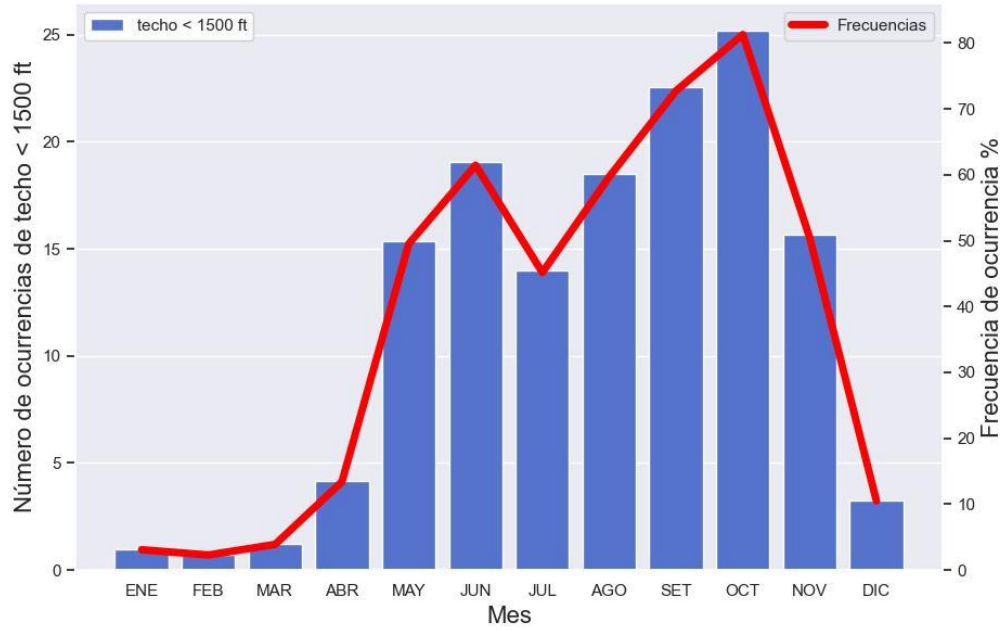


Figura 25. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de techo de nubes inferior a 1500 pies y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

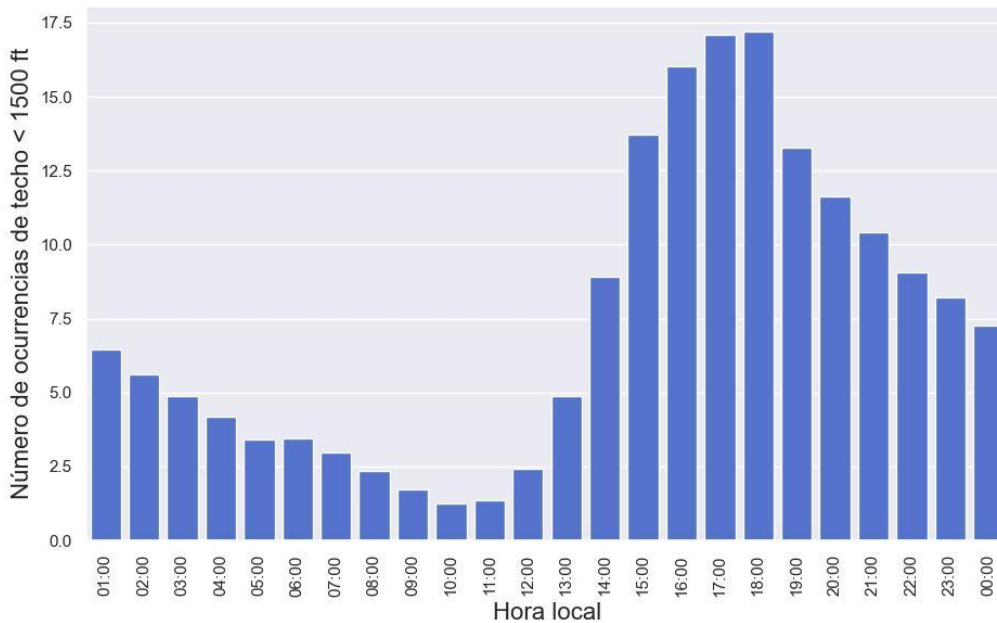


Figura 26. Valores mensuales medios reportes con techo de nubes inferior a 1500 pies durante el horario de operación en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

La figura 25 denota la cantidad de días por mes en los cuales se da al menos un evento de techo de nubes inferior a 1500 pies en el AIJS, así como sus frecuencias de ocurrencia. La mayor cantidad de días con esta condición se presentan en el mes de octubre, que como se vio anteriormente, durante dicho mes hay una mayor humedad en el ambiente que propicia mayor formación nubosa y por ende techos de nubes bajos, mientras que en julio se ve una ligera disminución en la cantidad de ocurrencias debido al periodo canicular.

Los eventos de techo menor a 1500 pies son mayormente observados entre las 15:00 y las 19:00 horas y se muestra en la figura 26, además, estos eventos coinciden con las observaciones de visibilidad restringida menor a 5000 m como se vio anteriormente. Cabe destacar que según la figura 25, estos eventos ocurren mayormente durante los meses de la época lluviosa (Alfaro e Hidalgo, 2021). Entre las 08:00 y las 12:00 se observan la menor cantidad de casos de techo menor a 1500 pies.

1.5. CAVOK

El término CAVOK hace referencia a la expresión en inglés “Ceiling and Visibility OK” y según OACI (2018) se refiere a una observación donde la visibilidad reinante es de 10 kilómetros o más, no se presenta nubosidad de importancia para las operaciones ni condiciones meteorológicas significativas. En la figura 27 se muestra la cantidad media de días en los que se reporta CAVOK, en al menos seis reportes no necesariamente de manera consecutiva, así como sus frecuencias de ocurrencia. Se escogió esta manera de visualizar los datos debido a que los mismos muestran una ocurrencia importante de eventos de CAVOK durante todo el año, pero se quiere observar específicamente en cuales meses se presenta esta condición durante una cantidad de horas significativa durante el día. Se observa que la mayor cantidad de días con este comportamiento se dan entre diciembre y abril, cuando la humedad en la atmósfera es baja en el AIJS, lo que reduce considerablemente la ocurrencia de precipitaciones e inhibe la formación de nubosidad baja, niebla y neblina (Fallas Sojo, 1987).

Esto se complementa con los datos representados en la figura 28, donde se muestra la cantidad media de ocurrencias de CAVOK por hora en el AIJS. La mayor cantidad de

ocurrencias de CAVOK se da en horas de la madrugada y mañana, específicamente entre las 00:00 y las 08:00 horas, intervalo de tiempo en el cual la cantidad media de ocurrencias supera los 15 eventos.

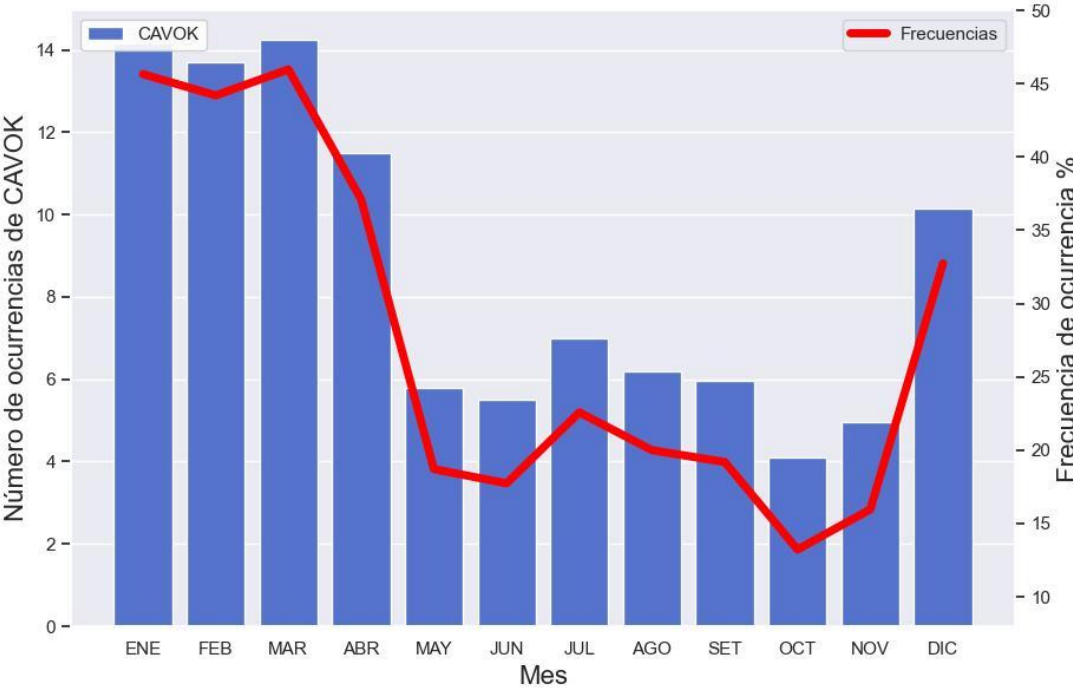


Figura 27. Valores mensuales medios de días con al menos seis reportes de CAVOK no necesariamente de manera continua y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

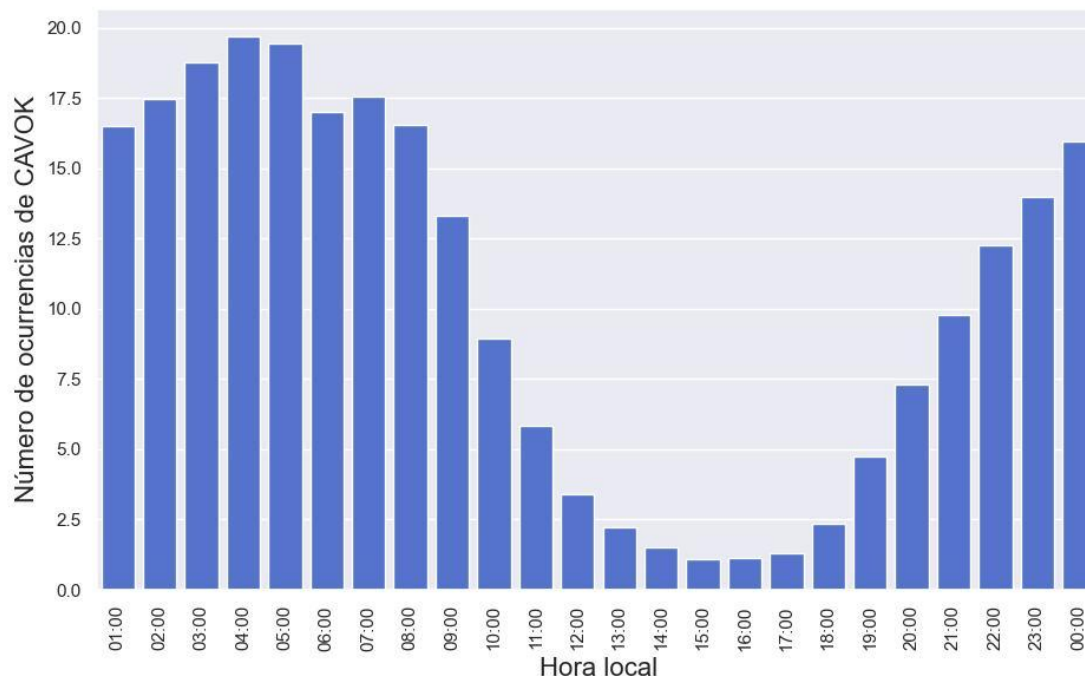


Figura 28. Valores mensuales medios de reportes con CAVOK durante el horario de operación del AIJS, 2005-2024. Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

El comportamiento climatológico de las variables analizadas en el AIJS corresponde al Valle Occidental de la Región Central del país, que se ve más afectado por las condiciones del Pacífico durante el verano boreal, y por las condiciones del Caribe en el invierno boreal.

Desde el mes de mayo y hasta noviembre, se presenta un incremento en las precipitaciones en el AIJS. Sobresale que, setiembre y octubre son los meses con mayores acumulados de precipitación, así como mayor cantidad de días con lluvia de todo el año.

Se deduce una distribución bimodal de los eventos de tormenta eléctrica, con un máximo en mayo y otro en el mes de setiembre, elemento importante a tomar en cuenta ya que restringe las operaciones en el aeródromo.

Durante el invierno boreal, desde finales de diciembre hasta marzo, se presentan los vientos más intensos en el AIJS. Esto ocasiona que se reporten ráfagas de viento con mucha más frecuencia en esta época del año.

Los meses de junio, setiembre y octubre son los meses en los que se presentan mayor frecuencia de fenómenos de oscurecimiento, los cuales se asocian a condiciones de viento débil o incursiones de vientos del oeste, típicos de esta época en el AIJS.

En el mes de abril, los vientos alisios disminuyen su intensidad notablemente, pero aún no se ha establecido la época lluviosa en Costa Rica, por lo que el calentamiento diurno ocasiona que las temperaturas sean las más altas del año. Mientras que, en el mes de octubre se presentan las temperaturas más bajas del año en promedio, cuando la época lluviosa está establecida en el país.

6. Bibliografía

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2023). *Manual de uso de términos meteorológicos*. Recuperado de https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023.pdf

Alfaro, E. (2014). Caracterización del "veranillo" en dos cuencas de la vertiente del Pacífico en Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1-15.

Alfaro, E., & Hidalgo, H. (2021). Inicio de la temporada de lluvias en América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 20(1), 16-28.

- Alfaro, E., Cortés, J., Alvarado, J., Jiménez, C., León, A., Sánchez-Noguera, C., ... Ruiz, E. (2012, abril). Clima y temperatura sub-superficial del mar en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 159-171.
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J., & Zárate, E. (2016, diciembre). 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. Parte 1. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 48-62.
- Dirección General de Aviación Civil (DGAC). (2022). *AIP Costa Rica Parte 3 Aeródromos*. Recuperado de <https://sub.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2022/05/PARTE-3-AD-AIRAC-28-19MAY22.pdf>
- Fallas Sojo, J. (1987). *Método objetivo de pronóstico de nieblas para el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Fultz, A. J., & Ashley, W. S. (2016). Fatal weather-related general aviation accidents in the United States. *Physical Geography*. <https://doi.org/10.1080/02723646.2016.1211854>
- Manso Sayao, P. C., & Varas Vera, A. (1990, diciembre). Climatología aeronáutica en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 1, 5-18. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet1990/html5/index.html?page=1&noflash>
- Marín, L., Jiménez, J., Moreno, H., Vélez, J., Guzmán, J., & Poveda, G. (2005, septiembre). Distribución espacial y ciclo diario de la temperatura ambiente y punto de rocío en una región de los Andes tropicales de Colombia. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 12, 149-158.

Muñoz, A. C., Fernández, W., Gutiérrez, J. A., & Zárate, E. (2002, julio). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(1), 1-13. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20021/html5/index.html?page=1&noflash>

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2018). *Anexo 3 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional: Servicio meteorológico para la navegación aérea*. OACI, Montreal, Quebec, Canadá.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1993). *Manual de observación de nubes y otros meteoros*. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). *Guía de prácticas climatológicas OMM-100*. Recuperado de http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2014). *Guía de instrumentos y métodos de observación*. Ginebra, Suiza.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017). *Atlas Internacional de Nubes*. Recuperado de <https://cloudatlas.wmo.int/es/home.html>

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

Solano León, E. H. (2015). *Análisis del comportamiento de los períodos caniculares en Costa Rica en algunas cuencas del Pacífico Norte y Valle Central entre los años 1981 y 2010* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Solano Quintero, J., & Villalobos Flores, R. (2001, julio). Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico-climático de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 8(1), 26-39. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20011/html5/index.html?page=1&noflash>

Vigiak, O., Sterk, G., Warren, A., & Hagen, L. J. (2003). Spatial modeling of wind speed around windbreaks. *Catena*, 52(3-4), 273-288.

Vindas Morán, R., & Garro Molina, D. (2024, diciembre). Python aplicado a la meteorología operativa: ejemplo práctico para la meteorología operativa. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 23(1), 15-34.

Vieira Agudelo, S., & Poveda Jaramillo, G. (2002, marzo). Marea diurna y semidiurna en los registros de tiempo de presión atmosférica superficial en Guatapé y Girardota, Antioquia. *Meteorología Colombiana*, 5, 75-82.