

Climatología Aeronáutica 2005-2023

Aeropuerto Internacional Juan Santamaría

Diego Garro Molina¹, Paula Campos Zúñiga², Adriana Mora Pérez², Raquel Salazar Víquez²

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 en general 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 general 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. INTRODUCCIÓN

En el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se creó la Climatología Aeronáutica del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (Manso Sayao & Vargas Vera, 1990), con el objetivo primordial de facilitar la toma de decisiones operativas y de seguridad que conllevan las actividades aeroportuarias. Este documento comprende el análisis del comportamiento de las variables meteorológicas registradas por medio de las estaciones meteorológicas aeronáuticas

EMA's y AWOS instaladas en el aeródromo, durante el período 2005-2023, que se complementan con las observaciones realizadas por el personal presente en la Oficina de Meteorología Aeronáutica (OMA).

En el Cuadro 1 se muestra el resumen de las variables meteorológicas en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría (AIJS) por mes.

¹Pronosticador Aeronáutico. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional. Autor principal. Email: dgarro@imn.ac.cr

²Observadora Aeronáutica / Pronosticadoras Aeronáuticas. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Instituto Meteorológico Nacional. Revisión. Email: pcampos@imn.ac.cr / amora@imn.ac.cr / rsalazar@imn.ac.cr

La principal terminal aérea de Costa Rica es el AIJS, el cual se inauguró con el nombre El Coco en 1958 y en 1972 en honor al héroe

nacional adquirió el nombre actual (Bosque, 2017).

Cuadro 1. Resumen de variables meteorológicas, AIJS 2010-2022. Fuente: IMN.

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	31.5	13.3	30.7	15.8	4.1	3
Febrero	33.9	14.3	31.7	15.6	6.2	2
Marzo	33.4	14.7	32.3	16.3	17.3	3
Abril	36.1	15.2	33.0	16.6	126.3	11
Mayo	32.8	14.4	31.6	17.1	246.0	21
Junio	31.9	16.7	31.0	17.3	273.6	22
Julio	32.2	15.7	31.0	17.1	176.0	19
Agosto	31.9	16.5	30.9	17.0	227.3	22
Setiembre	31.7	16.0	30.7	16.9	345.4	25
Octubre	31.5	15.6	30.5	16.7	328.1	26
Noviembre	31.6	14.9	30.0	16.4	153.3	20
Diciembre	32.4	14.8	30.3	16.6	32.8	8
Anual	36.1	13.3	31.1	16.6	1936.4	182

En las instalaciones del aeropuerto se encuentran los colaboradores bajo nómina del ente administrador del aeropuerto: Aeris Holding Costa Rica S.A. (Gestor), quienes coordinan sus funciones con el personal de las empresas privadas y las entidades del Estado que operan en el AIJS, entre las cuales se encuentra el IMN (Aeris Holding Costa Rica, 2023). En el manual: Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (Aeris Holding Costa Rica, 2022), se describen diversos aspectos a implementar por Aeris Holding Costa Rica como administrador del AIJS, con el propósito de mantener un adecuado control de la seguridad operacional, en el cual se añaden las condiciones meteorológicas como sucesos relacionados con la operación de las aeronaves.

Aunado a ello, en el Plan de Emergencia del Aeropuerto (Aeris Holding Costa Rica, 2022), se especifican los tipos de alertas de índole

aeronáutica y no aeronáutica, que puedan acontecer dentro de los límites del AIJS y hasta 8 km de su perímetro. Es de especial interés la Alerta 1, que hace referencia a las condiciones meteorológicas cuando:

- La visibilidad sea inferior a los 5 kilómetros.
- La capa de nubes más baja sea inferior a 300 metros.
- Se considera que la maniobra de despegue o aterrizaje no puede ser observada por la Torre de Control.
- La condición meteorológica pueda dificultar las maniobras de despegue o aterrizaje.

La industria de la aviación requiere de una conexión vital con los gobiernos del mundo para garantizar la seguridad aérea, con esto nace la necesidad de establecer un código que reconozca a cada terminal aeroportuaria y, por ende, diferenciarla de las demás. A cargo de dicha designación está la

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, o ICAO por sus siglas en inglés) (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2024) que se basó en la ubicación geográfica por regiones (dicho código también se utiliza para localizar estaciones meteorológicas) y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA por sus siglas en inglés), que no utiliza un patrón único para su nomenclatura ya que puede recurrir al nombre de la ciudad donde se ubica el aeropuerto, el nombre del mismo aeropuerto, entre otros. Los códigos internacionales que indican el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Códigos utilizados para el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

Organización	Códigos del aeropuerto
IATA	AJSO
OACI	MROC

1.1. Descripción del área

El Aeropuerto Internacional Juan Santamaría se emplaza en las coordenadas geográficas: 09°59'38.0517", -84°12'31.8819" (EPSG:4326 WSG 84, centro geométrico de la pista. Coordenadas proyectadas: -9374086.98, 1118200.80 EPSG:3827 WSG 84 / Pseudo Mercator), y se ubica en la República de Costa Rica, provincia: Alajuela, cantón Alajuela, distritos: Guácima y Río Segundo, a 18 kilómetros al Noroeste de la capital San José y a 2 kilómetros al Sur de la ciudad de Alajuela, a una altura aproximada de 923 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Dirección General de Aviación Civil (DGAC), 2022).

En el Gran Área Metropolitana (GAM) se distinguen pasos entre montañas, como el Paso del Desengaño, situado entre el Volcán Poás y el Barva, y el Paso de la Palma, ubicado entre el Volcán Barva y el complejo Irazú-Turrialba; estos pasos permiten una libre circulación de los vientos alisios y favorecen el ingreso de humedad desde el Mar Caribe, en la Figura 2 se muestran

dichos pasos montañosos (Campos & Castro, 1992).

En los 8 kilómetros alrededor del aeropuerto predominan las características de una región climática tropical lluvioso y seco, cuyas variables se estarán analizando en detalle más adelante. El AIJS forma parte del régimen Pacífico, que se caracteriza por tener una estación seca y una estación lluviosa bien definidas. Se ubica hacia el sector occidental de la Región Central, en la zona del Valle Central que es más baja, cálida y lluviosa en relación con la Región Oriental de ese mismo valle (Solano & Villalobos, 2001).

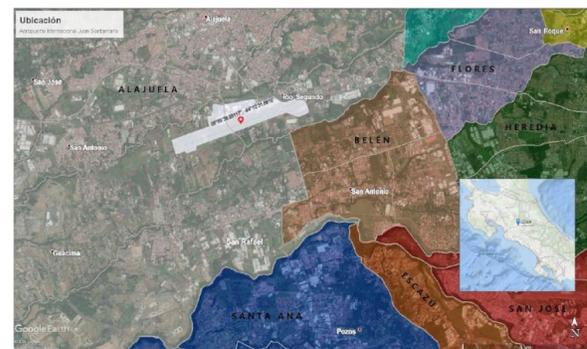


Figura 1. Ubicación del AIJS. Fuente: IMN

La estación seca se extiende desde diciembre hasta marzo, con este 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. Se presenta una disminución relativa en la cantidad de precipitaciones durante los meses de julio y agosto (veranillo o canícula) cuando se intensifica la velocidad de los vientos alisios. Los meses más lluviosos son setiembre y octubre debido principalmente a los sistemas ciclónicos, los vientos monzónicos provenientes del Océano Pacífico ecuatorial y las brisas marinas, que son responsables de las lluvias intensas cuando se encuentran con las barreras orográficas (Muñoz, Fernández, Gutiérrez, & Zárate, 2002).

La Zona de Convergencia Intertropical - ZICT- es uno de los factores más influyentes en el régimen de precipitación del Pacífico,

sobre todo al sur del país. Puede desplazarse hasta nuestro territorio e



Figura 2. Pasos entre montañas en la zona de interés, ruta hacia MROC. Fuente: IMN.

inclusive sobrepasar hasta regiones más al norte. Las lluvias ocurren por lo general durante la tarde y primeras horas de la noche. En la Figura 3 se observa el climograma del AIJS que relaciona la precipitación acumulada y las temperaturas máxima media y mínima media; los meses menos lluviosos son diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que las precipitaciones más abundantes se dan en el mes de octubre. La temperatura máxima presenta un máximo relativo en abril y un mínimo relativo en octubre. En cuanto a la temperatura mínima, se denota un máximo relativo en julio y un mínimo relativo en febrero. Los periodos de menos precipitaciones son consecuencia del alejamiento de la Zona de Convergencia Intertropical, lo cual disminuye el ingreso de humedad desde el Océano Pacífico (Alfaro & Hidalgo, 2021).

1.2. Operatividad del aeropuerto

El área de aterrizaje de helicópteros del AIJS opera de manera visual desde la salida y

hasta la puesta del Sol. Desde 1975 el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) brinda el servicio de meteorología aeronáutica requerido para las operaciones y la seguridad, de conformidad con los establecido por la Organización de Aviación

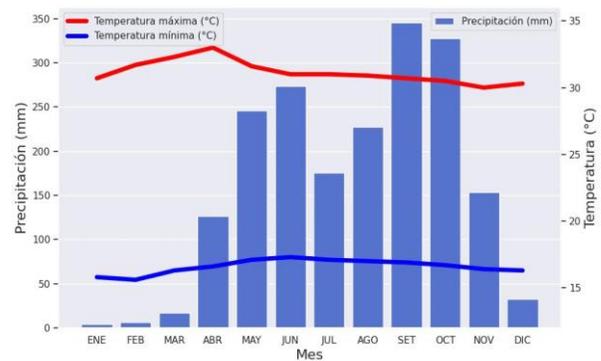


Figura 3. Climograma del aeropuerto, AIJS, 2010-2023. Fuente: IMN.

Cuadro 3. Mínimos meteorológicos de visibilidad para helicópteros en MROC. Fuente: (Dirección General de Aviación Civil (DGAC), 2023).

Aproximación	Pista	Techo de nubes	Visibilidad horizontal
Visual (VFR)	07	500 ft (150 m)	800 m
	25		

Civil Internacional. Los umbrales mínimos meteorológicos para la operación correspondientes han sido establecidos a partir de los sistemas de ayuda disponibles, así como los obstáculos del terreno y visibilidad. En el Cuadro 3 se observan los valores de los mínimos meteorológicos operativos para helicópteros (Dirección General de Aviación Civil (DGAC), 2023).

2. METODOLOGÍA

Según las recomendaciones de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018), el periodo de datos analizado fue de 19 años, entre el 2005 y el 2023 inclusive, durante los cuales a través de los reportes meteorológicos aeronáuticos METAR (del acrónimo del francés “Météorologique Aviation Régulière”), son los reportes meteorológicos emitidos cada hora (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018)) se registraron datos horarios, los 365 días del año de 0000UTC a 2300UTC. Los datos extraídos son:

- Dirección y velocidad del viento

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

Estos datos fueron almacenados de acuerdo a las normas internacionales, en archivos de Microsoft Excel con formato de hojas climatológicas, donde se incluyó la información recopilada por los observadores aeronáuticos correspondientes a estas variables (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2021).

Adicionalmente, los datos de precipitación acumulada, temperaturas máximas y mínimas fueron extraídos de las estaciones del IMN. En el Cuadro 4 se presentan las características de los sensores de las estaciones Campbell P-07 y AWOS P-07. Estos fueron revisados y cuando se detectaron anomalías o variaciones significativas, fueron cotejados con los METAR registrados en las hojas climatológicas los resúmenes meteorológicos generados por el Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica (DMSA) del IMN, para determinar si fueron provocadas

Cuadro 4. Características de las estaciones meteorológicas en el AIJS. Fuente: IMN, COCESNA.

	Ubicación		
	AWOS (P-07)	CAMPBELL (P-07)	
Coordenadas	9°59'21" N 84°13'06" O		
Altura	897 msnm		
	Equipo		
Tipo de sensor	Modelo		Emplazamiento
	AWOS	CAMPBELL	
Anemómetro Veleta	WMT700	5106	A 10 m
Temperatura Humedad relativa	HMP155	HMP155	A 2 m
Presión atmosférica	PTB330	CS106	A 1.8 m
Precipitación	RG13	TB4MM	A 1.5 m

Tiempo presente	PWD22	-	A 2 m
Ciclómetro	CL31	-	A 0.5 m
Visibilidad	LT31	-	A 2 m

accidentalmente (en cuyo caso de procedió a corregirlos manualmente) o si reflejaban los verdaderos efectos del sistema climático.

Después de tener los datos corregidos y verificados, se aplicaron técnicas estadísticas para el análisis de la información, se obtuvo valores típicos diarios, mensuales y en algunos casos horarios, lo que permitió generar gráficos que representan la tendencia de las diferentes variables durante el período de estudio.

3. VARIABLES METEOROLÓGICAS

Se analizaron las variables meteorológicas listadas anteriormente, lo que permitió establecer su comportamiento a lo largo del periodo de tiempo asociado. Se detallan los resultados a continuación:

3.1. Viento

El viento es el movimiento del aire con respecto a 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 & Vargas Vera, 1990).

3.1.1. Dirección del viento

Según la Agencia Estatal de Meteorología (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2023), la oscilación en la dirección del viento puede variar en intervalos de 45°, los cuales se definen a partir de la rosa de los vientos:

- Norte (N): entre 337.5° y 22.5°;
- Noreste (NE): entre 22.5° y 67.5°;
- Este (E): entre 67.5° y 112.5°;
- Sureste (SE): entre 112.5° y 157.5°;
- Sur (S): entre 157.5° y 202.5°;
- Suroeste (SO): entre 202.5° y 247.5°;

- Oeste (O): entre 247.5° y 292.5°;
- Noroeste (NO): entre 292.5° y 337.5°;

Cuando la oscilación en la dirección del viento vaya a ser de más de 45°, ésta se define en intervalos de 90° como sigue:

- Norte (N): entre 315° y 45°;
- Este (E): entre 45° y 135°;
- Sur (S): entre 135° y 225°;
- Oeste (O): entre 225° y 315°;

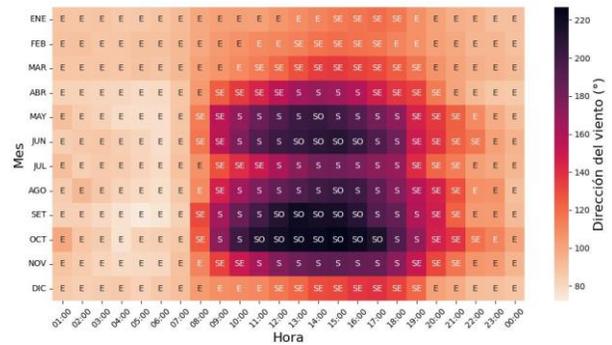


Figura 4. Mapa de calor mensual durante las horas de operación (eje horizontal) para la dirección del viento en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

La Figura 4 muestra el comportamiento general de la dirección del viento para cada mes del año durante las horas de operación del aeropuerto. Se denota como el viento del este predomina durante las horas de la madrugada, específicamente entre las 00:00 y las 07:00 horas. En la época lluviosa, desde mayo hasta noviembre, en horas de la tarde predominan vientos del Sur-Suroeste, lo cual corresponde al ingreso de la brisa marina proveniente desde la región costera del Pacífico de nuestro país (Mora Sandí, 2020).

A continuación, se muestra el comportamiento de la dirección del viento de una forma más detallada (Figura 5). Desde diciembre y hasta mediados de abril el viento dominante proviene del este (de colores azul

y morado), dirección propia de los vientos alisios que se aceleran durante el invierno boreal producto de la tendencia a la baja en las temperaturas y el arribo de sistemas

frontales al Mar Caribe y el Norte de Centroamérica (Chinchilla, Gutiérrez, & Zárate, 2016). Desde principios de mayo y

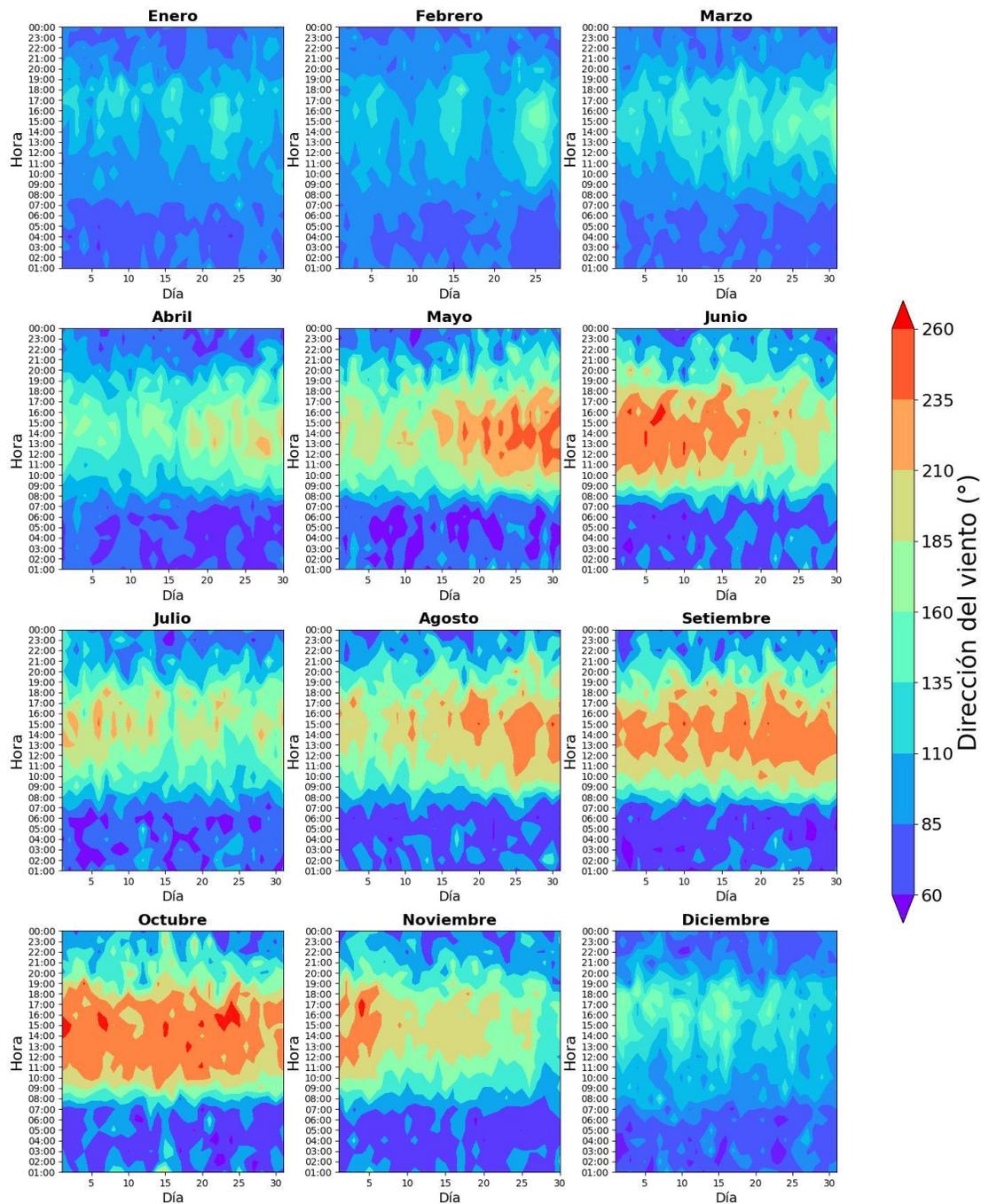


Figura 5. Distribución media diaria de la dirección del viento horario en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

hasta la segunda semana de noviembre, la brisa marina (Mora Sandí, 2020) se hace

presente con vientos del Sur y Suroeste durante horas de la tarde (colores naranja y

rojo), lo que contribuye al aumento de la humedad atmosférica en estos meses.

La Figura 6 presenta la variación de la dirección del viento durante el día en el AIJS. El viento suele provenir del este y noreste durante la noche y madrugada, y tiende a variar a viento del sur por las tardes.

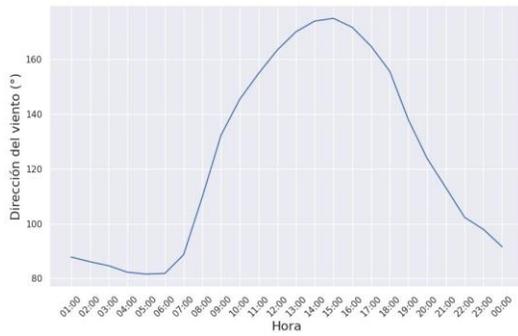


Figura 6. Variación horaria de la dirección del viento para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.1.2. Velocidad del viento

La velocidad del viento en el ámbito de la meteorología aeronáutica se representa usualmente en nudos (Kt), que es la unidad oficial para expresar la rapidez del viento, donde según Pérez D’Gregorio R, 2002:

$$1 \text{ Kt} = 0,514 \text{ m/s} = 1.853 \text{ km/h}$$

En la Figura 7 se representa el promedio mensual de la velocidad del viento. Los meses de diciembre a marzo son los más ventosos. A partir de abril se muestra una disminución hasta llegar a junio. En julio, durante la canícula (Solano León, 2015), los

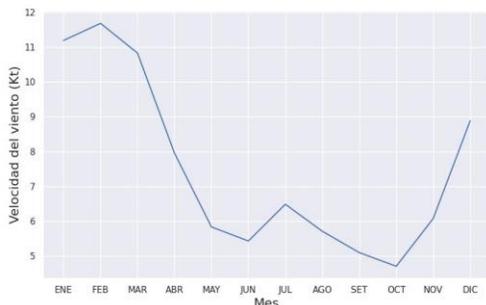


Figura 7. Variación mensual de la velocidad del viento para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

vientos alisios se aceleran ligeramente, por lo que se puede apreciar un aumento en la velocidad de este. Se da una segunda disminución a partir de agosto, hasta llegar a un mínimo en octubre. Luego en noviembre, durante la transición hacia la época seca, los vientos aumentan su velocidad nuevamente.

Además, se puede observar específicamente en la

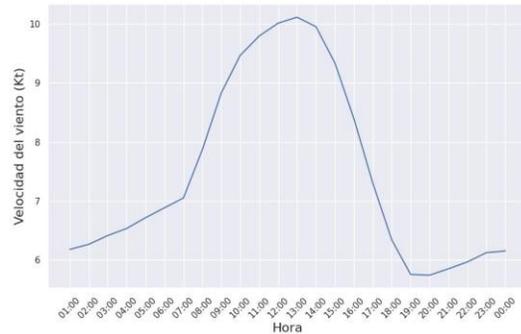


Figura 8. Variación horaria de la velocidad del viento durante el día se presenta entre las 12:00 y 14:00 horas.

Un panorama más detallado se muestra en la Figura 9, donde se aprecia que durante los meses de la época lluviosa la velocidad del viento tiende a ser mucho más baja que, en los meses de la época seca, donde los vientos alisios acelerados alejan la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) de nuestro país (Alfaro E. , 2014).

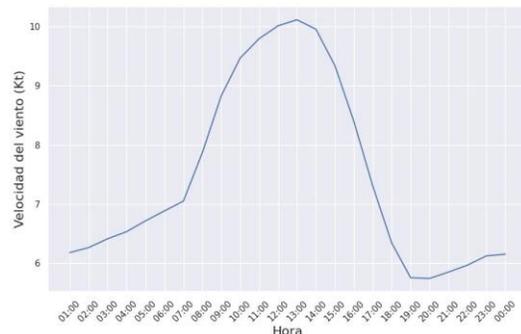


Figura 8. Variación horaria de la velocidad del viento para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.1.3. 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 excedan en 10 Kt a la velocidad media» (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018). Al igual que con la velocidad del viento se puede observar en la Figura 10 que las ráfagas máximas suceden durante los meses de la época seca, desde diciembre hasta abril, con

un máximo extremo en el mes de febrero. Se puede observar un máximo secundario en el mes de julio. Mientras que el mínimo extremo se da en el mes de octubre, cuando predominan los vientos del oeste en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, que según los datos registrados tienden a presentar muy poca ocurrencia de ráfagas.

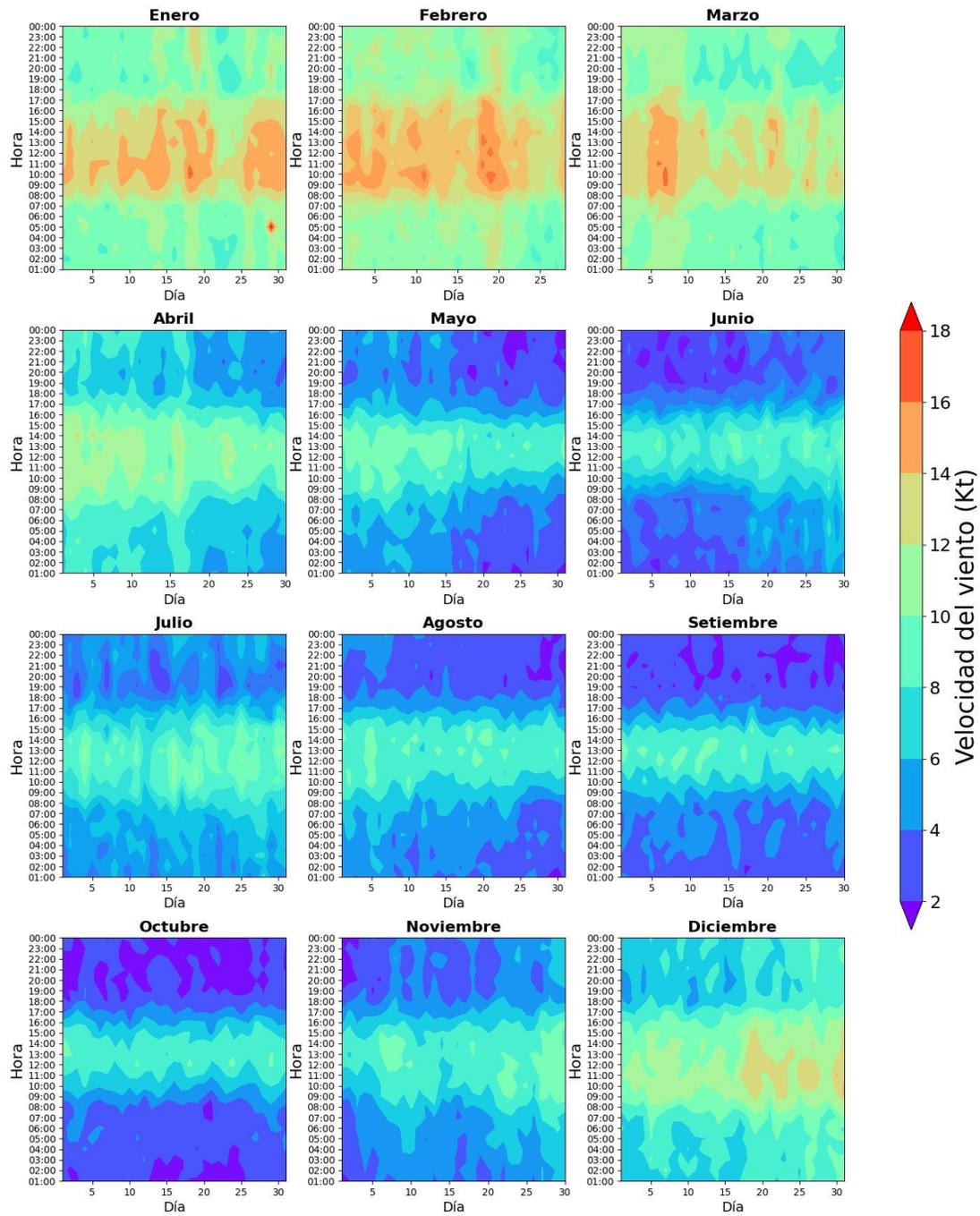


Figura 9. Distribución media diaria de la velocidad del viento horario en el AIJS, 2005, 2023. Fuente: IMN.

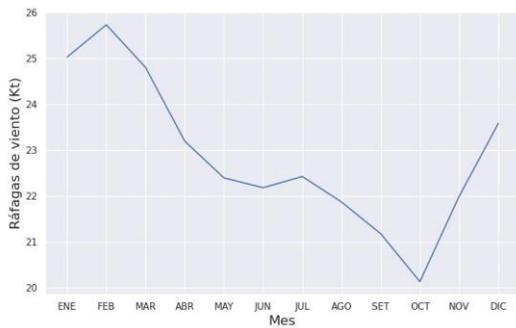


Figura 10. Variación mensual de las ráfagas de viento para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

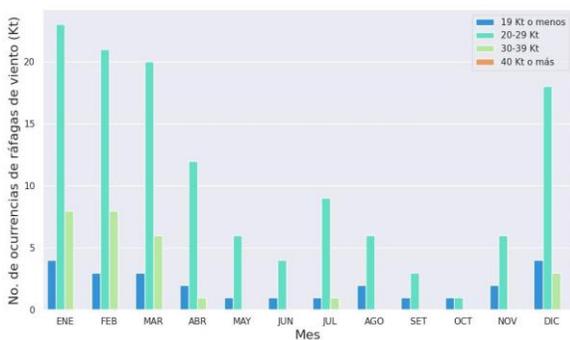


Figura 11. Valor medio de ocurrencias de ráfagas de viento por mes: menores a 20 Kt (azul), entre 20 y 29 Kt (celeste), entre 30 y 39 Kt (verde) y más de 40 Kt (naranja), para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

Los valores de las ráfagas de mayor ocurrencia durante el año en MROC se encuentran entre 20 Kt y 30 Kt, primordialmente durante los meses de diciembre a abril y adicionalmente los meses de julio y agosto (barras celestes en la Figura 11). Las ráfagas registradas entre 30 Kt y 39 Kt se presentan más ocasionalmente para los meses de diciembre a abril, y menos frecuentes en julio (barras verdes en la Figura 11), Muy poco frecuentes o nulas son las ráfagas superiores a 40 Kt.

3.2. Temperatura

La temperatura es «la condición que determina el flujo de calor de un cuerpo a otro, medido en alguna escala de temperatura por medio de cualquiera de los diversos tipos de termómetros» (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020). En el

AIJS, la temperatura se registra de forma continua con un termómetro emplazado a 2 metros del suelo, protegido de la radiación directa y con adecuada ventilación. En Costa Rica la temperatura es medida en grados Celsius, donde Pérez D'Gregorio R, 2002:

$$1^{\circ}C = 33.8^{\circ}F = 274.15$$

«El régimen de temperatura de un lugar, desde el punto de vista físico, está definido como el balance entre la radiación de onda corta y la de onda larga, que en gran parte está condicionada por la nubosidad prevaleciente» (Manso Sayao & Vargas Vera, 1990), también está influenciada por la altitud, latitud, distancia a cuerpos de agua, contrastes entre las superficies terrestres y marítimas, y la cobertura del suelo, asimismo, puede verse alterada por la llegada de masas de aire frías o cálidas (Chinchilla, Gutiérrez, & Zárate, 2016).

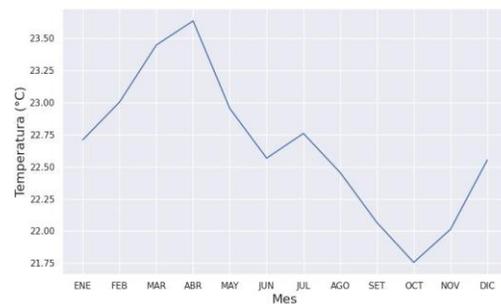


Figura 12. Variación mensual de la temperatura media para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

A lo largo del tiempo se produce una variación en la temperatura, lo que permite definir dos ciclos, el primero es el ciclo diario ocasionado por la rotación terrestre, y el segundo es el ciclo anual, a causa de la traslación de la Tierra (Marín, y otros, 2005).

En el ciclo diario, la temperatura superficial varía en función del número de horas de insolación, por lo que se registran contrastes entre la temperatura del día y la noche; las temperaturas más elevadas son registradas

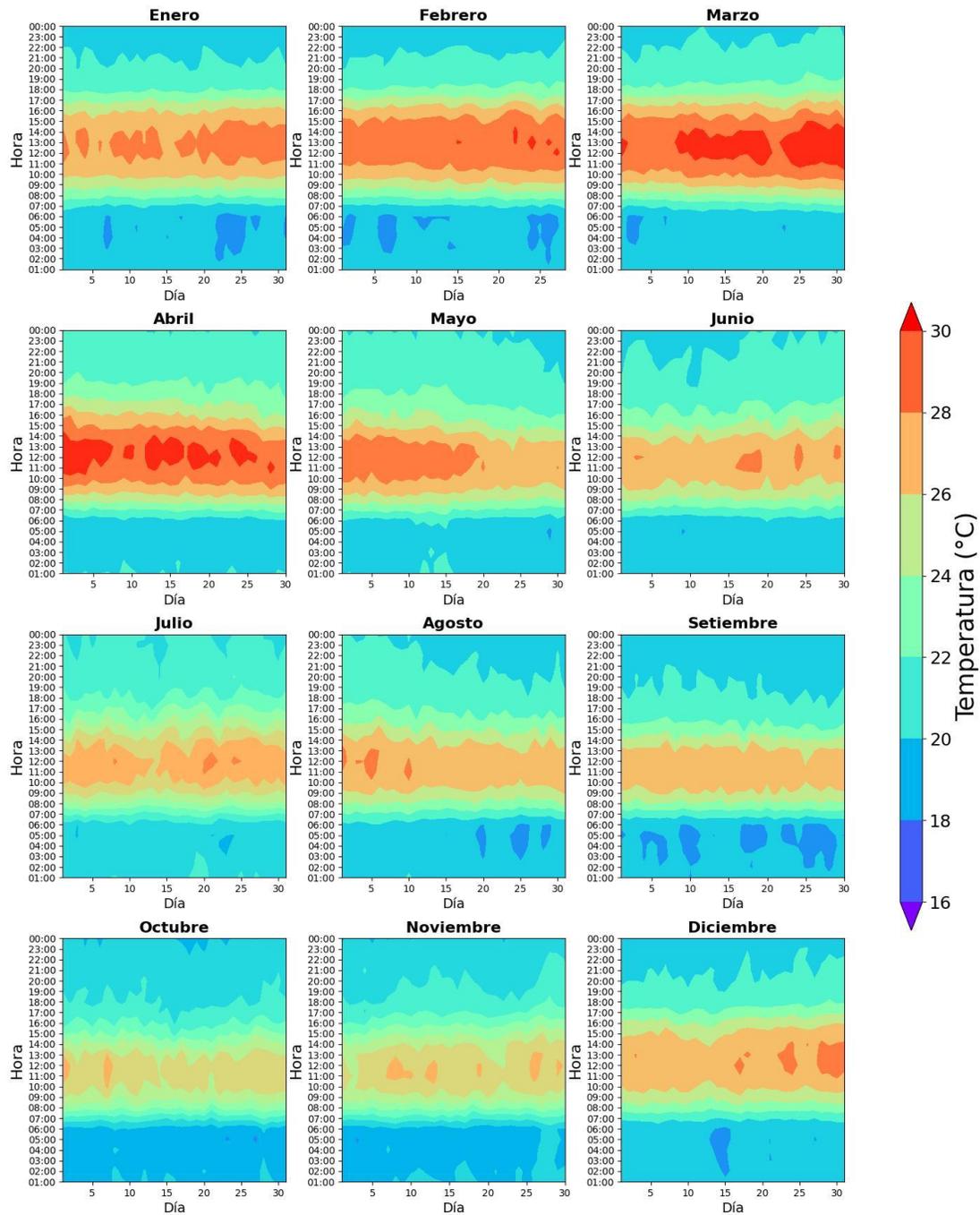


Figura 13. Distribución media diaria de la temperatura media horaria en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

durante el día, y las más bajas por la madrugada, generalmente (Solano & Villalobos, 2001). Del Cuadro 1 sabemos que la variación promedio de la temperatura en el AIJS es de 14.5°C.

El ciclo anual no es tan marcado en las regiones tropicales, donde se presentan pequeñas variaciones a lo largo del año (University Corporation for Atmospheric Research, 2014).

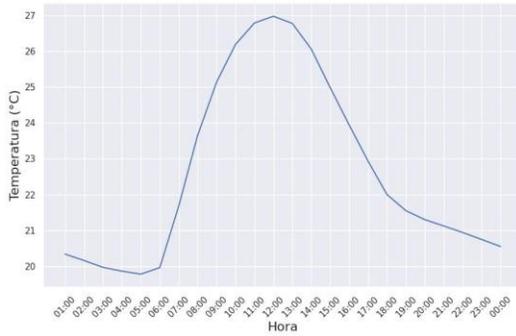


Figura 14. Variación horaria de la temperatura media por mes para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.2.1. Temperatura media

Durante el mes de abril las temperaturas tienden a ser muy elevadas en AIJS, ya que, hay poca humedad en la atmósfera, viento más débil respecto a los tres meses anteriores, pocas nubes y por tanto mucha radiación solar (Alfaro, y otros, 2012). La temperatura media mensual más baja se da en octubre, mes más lluvioso del año y uno de los meses más húmedos según el Cuadro 1, ya que, las temperaturas tienden a disminuir durante los eventos de precipitación intensa y formación nubosa durante el día que obstruye los rayos solares (Marín, y otros, 2005).

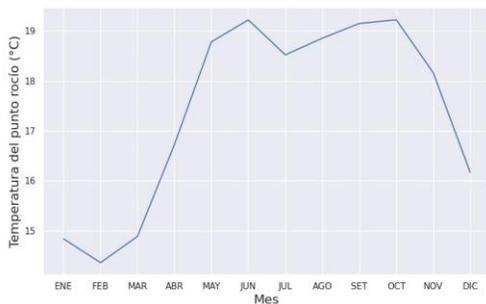


Figura 15. Variación mensual de la temperatura del punto de rocío media para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

En la Figura 13 se muestra la distribución media diaria de la temperatura horaria para cada mes del año. Se denota que de diciembre a abril las temperaturas más cálidas se dan entre las 10:00 y las 17:00 hora local, con un máximo que varía entre las 13:00 y 14:00. Mientras que a partir de mayo y hasta noviembre, este rango se reduce en una hora, las temperaturas más cálidas durante estos meses se dan entre las 09:00 y las 15:00 hora local, y un máximo alrededor de las 12:00. A partir de mayo, la cantidad de días con precipitación aumenta considerablemente (ver Cuadro 1), y estas precipitaciones ocurren generalmente en horas vespertinas, lo que disminuye las temperaturas considerablemente. Por otra parte, las temperaturas más bajas se dan entre las 00:00 y las 06:00 hora local, con sus valores mínimos alrededor de las 05:00 y 06:00 (ver Figura 13).

En la Figura 14 se presenta el promedio horario de la temperatura. El valor máximo se alcanza a eso de las 12:00 horas. Por otro lado, las temperaturas medias por hora más bajas se presentan alrededor de las 05:00 horas.

3.2.2. Temperatura del punto de rocío

La temperatura del punto de rocío es «el valor de la temperatura en que el aire húmedo saturado con respecto al agua a una presión dada alcanza una relación de mezcla de saturación igual a la relación de mezcla dada» (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2014). Una definición menos técnica sería: es la temperatura a la cual se debe enfriar el aire para que el vapor de agua contenido en él se condense en agua líquida o se forme escarcha (Marín, y otros, 2005).

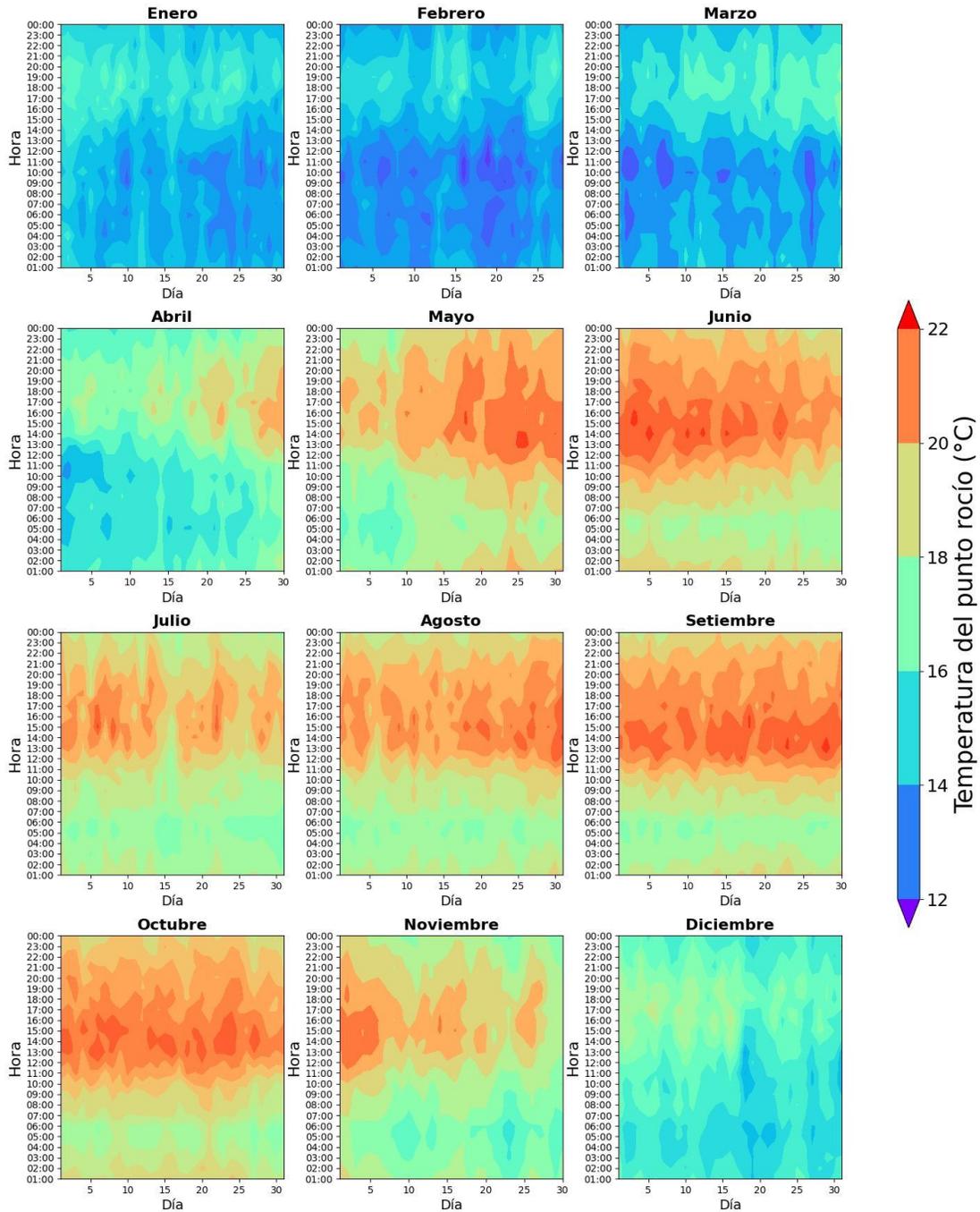


Figura 16. Distribución media diaria de la temperatura del punto de rocío horaria en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

La temperatura del punto de rocío media mensual en el AIJS (Figura 15) presenta dos máximos durante el año. El primero es 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, setiembre y octubre (ver Cuadro 1). Se refleja también en esta tendencia la temperatura del punto de rocío el periodo canicular (Solano León, 2015) durante el mes de julio, cuando las precipitaciones se ven reducidas y hay

menos humedad en la atmósfera. Los valores más bajos de la temperatura del punto de rocío se presentan de diciembre a abril, correspondientes a los meses de la época seca en MROC.

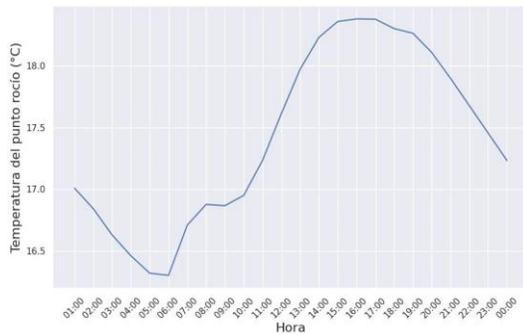


Figura 17. Variación horaria de la temperatura del punto de rocío media para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

Se analiza también la distribución media diaria de la temperatura del punto de rocío horaria por mes (ver Figura 16). El ciclo diurno de la temperatura del punto de rocío es mucho más visible desde finales de abril hasta noviembre, cuando hay más humedad debido a la cercanía de la Zona de Convergencia Intertropical (Alfaro & Hidalgo, Inicio de la temporada de lluvias en América Central, 2021). Más adelante en este documento se verá que después de las 12:00 horas es cuando en la mayoría de las ocasiones se dan las lluvias en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, y, por lo tanto, la temperatura del punto de rocío coincide con los valores más altos.

La Figura 17 muestra el promedio horario de la temperatura del punto de rocío. Es evidente el ciclo diurno en el cual disminuye la temperatura en horas de la madrugada hasta alcanzar un mínimo alrededor de las 06:00 horas. En general, los valores más altos de esta temperatura se dan entre las 15:00 y 17:00 horas.

3.3. Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza «ejercida por la atmósfera en virtud de su peso sobre una superficie dada» (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020). La presión atmosférica puede ser medida en milibares, pascales o pulgadas de mercurio, donde según Azorin, 2004:

$$1 \text{ atmósfera} = 1032,2 \text{ hPa} = 29,92 \text{ inHg}$$

Los aeropuertos internacionales de Costa Rica brindan la presión al nivel del mar (QNH) calculada a partir de la presión atmosférica en la estación en todos los reportes METAR y SPECI. Esta información se facilita en unidades de pulgadas de mercurio (inHg).

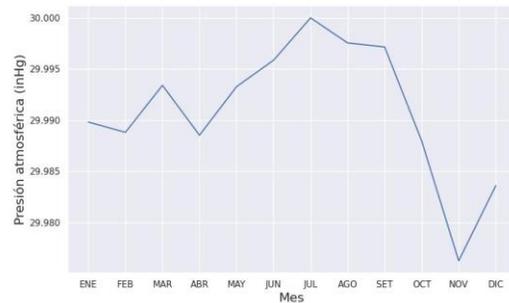


Figura 18. Variación mensual de la presión (QNH) media para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

La variación horaria, la cual muestra un ciclo diurno bien definido. La variación media mensual se La variación de la presión (QNH) a lo largo del año en MROC es irregular e influenciada externamente por factores/sistemas de gran escala (empujes fríos, ciclones tropicales, bajas presiones, etc. (Chinchilla, Gutiérrez, & Zárate, 2016) y (Alfaro & Hidalgo, Inicio de la temporada de lluvias en América Central, 2021)) lo que da alcance a sus puede observar en la Figura 18. El QNH se mantiene alrededor de 29.99 inHg desde enero hasta octubre, pero en noviembre disminuye notablemente hasta alrededor de 29.97 inHg.

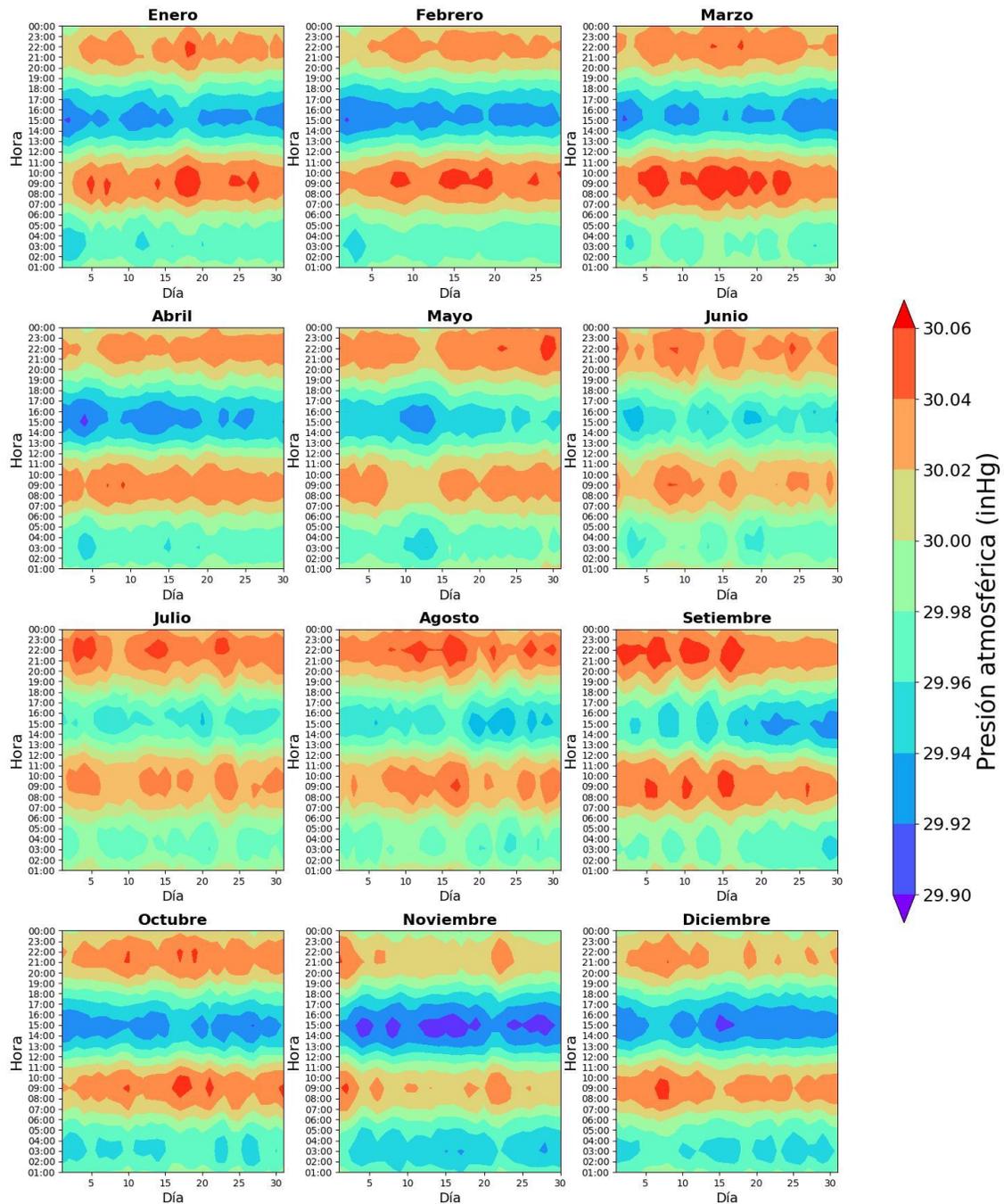


Figura 19. Distribución media diaria de la presión (QNH) horaria en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN

La Figura 19 muestra la distribución media diaria de la presión atmosférica horaria (QNH) reportada en MROC por mes, lo que deja ver el ciclo diurno de esta variable en la estación (Vieira Agudelo & Poveda Jaramillo, 2002). Se denotan dos máximos relativos

(09:00-10:00 y 22:00 horas) y dos mínimos relativos (03:00-04:00 y 15:00-16:00 hora local). También se aprecia claramente en la figura, cómo los mínimos de noviembre y diciembre son más profundos que el resto de los meses.

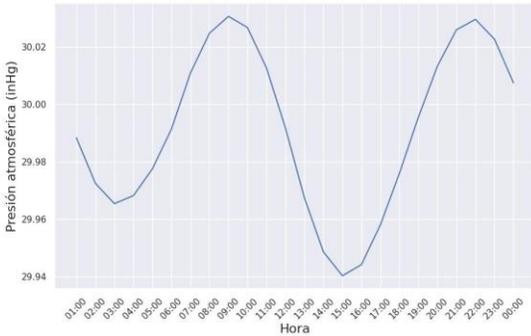


Figura 20. Variación horaria de la presión (QNH) media para el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN

En la Figura 20 se presenta el promedio horario de la presión atmosférica. Se denota como el mínimo de la tarde es más profundo que el de la madrugada, esto se puede atribuir al calentamiento diurno que torna el aire menos denso, por lo que ejerce menor peso sobre la superficie (Vieira Agudelo & Poveda Jaramillo, 2002). No se denota una diferencia significativa entre los máximos relativos de QNH debido a las horas en las que ocurren, durante la mañana aún no se dan temperaturas tan altas y por la noche el ambiente ya se ha enfriado lo suficiente (Marín, y otros, 2005).

3.4. Visibilidad

La visibilidad es 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 (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

La visibilidad es uno de los elementos meteorológicos más complejos y subjetivos de estimar, depende en gran medida de la agudeza visual del observador, de las ayudas disponibles (como lo son las cartas de visibilidad, imágenes satelitales, sensores), de los obstáculos del campo de observación y más importante, de la posición del observador, puesto que a mayor altura mayor y mejor es el rango de visión (Organización Meteorológica Mundial

(OMM), 2014). La visibilidad en los aeródromos se clasifica como visibilidad horizontal y visibilidad vertical (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

En el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría debe emitirse en los informes ordinarios y especiales (METAR y SPECI respectivamente) (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018) siempre que ocurran cambios para los siguientes criterios:



Figura 21. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de visibilidad horizontal menor a 5000 metros y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

cuando la visibilidad esté mejorando y cambie a, o pase por uno o más de los siguientes valores; o cuando la visibilidad esté empeorando y pase por uno o más de los siguientes valores:

1. 800 m
2. 1500 m
3. 3000 m
4. 5000 m, cuando haya una cantidad considerable de vuelos que operen por las reglas de vuelo visual.

Al momento de indicar el valor de la visibilidad se toma como referencia la «visibilidad reinante», excepto cuando se notifica únicamente la visibilidad mínima sin indicarse la dirección, debido a que la visibilidad reinante fluctúa rápidamente

(Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

3.4.1. Visibilidad horizontal

La visibilidad horizontal «es la distancia máxima a la cual un observador puede ver e identificar un objeto situado cerca del plano horizontal sobre la cual él está apoyado» (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2023), se expresa en metros, kilómetros o millas náuticas. La visibilidad horizontal puede ser (Dirección General de Aviación Civil (DGAC), 2021):

- reinante: corresponde a un radio igual o superior a la mitad del horizonte (180° o más), ó
- secundaria: corresponde a un radio inferior a la mitad del horizonte (menos de 180°).

La visibilidad horizontal óptima para el desarrollo de las operaciones aéreas debe ser igual o superior a 10 km, cuando es inferior a esta distancia, se registra cada kilómetro hasta llegar a 5 km, y de ser inferior a dicha distancia, se considera como visibilidad restringida (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

En la Figura 21 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 tiene 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 son nuevamente de diciembre a abril cuando las precipitaciones y eventos de oscurecimiento son menos frecuentes, como se discutirá posteriormente cuando se analicen las variables de hidrometeoros.

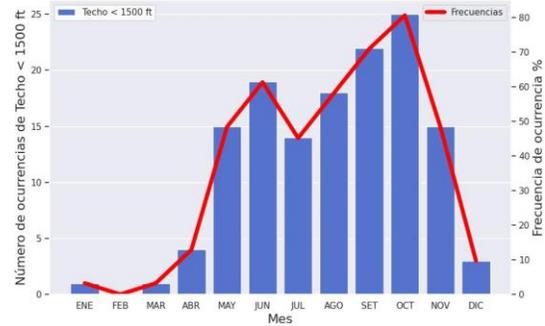


Figura 22. Valores mensuales medios de días con al menos un reporte de techo de nubes menor a 1500 pies y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

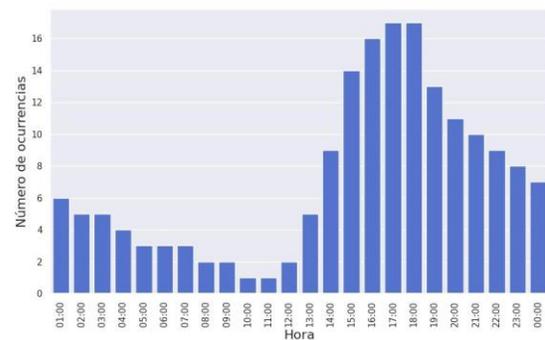


Figura 23. Valores mensuales medios de reportes con techo de nubes menor a 1500 pies durante el horario de operación en el AIJS, 2005-2023). Fuente: IMN.

3.4.2. Visibilidad vertical

La visibilidad vertical corresponde a la altura de la base de las nubes y se expresa en pies (ft). Un techo nuboso (Se considera techo nuboso cuando la capa nubosa sobre el aeródromo cubre 5 octas (5 octavos) o más del cielo) donde la visibilidad vertical es igual o inferior a 1500 ft, se considera como visibilidad vertical restringida que limita las operaciones aeronáuticas (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

La Figura 22 denota la cantidad de días por mes en los cuales se da al menos un evento de techo menos a 1500 ft en MROC, así como sus frecuencias de ocurrencia. La mayor cantidad de días con esta condición corresponde al mes de octubre, por razones antes expuestas, mayor humedad en la

atmósfera propicia mayor formación nubosa y techos de nubes bajos. En julio se ve una ligera disminución en la cantidad de ocurrencias debido al periodo canicular.

Los eventos de techo menor a 1500 ft son frecuentes en AIJS, éstos se presentan mayormente entre las 16:00 y las 18:00 horas como lo muestra la Figura 23, con valores que oscilan alrededor de 15 ocurrencias por mes. Cabe destacar que según la Figura 22, estos eventos ocurren mayormente durante los meses de la época lluviosa. Mientras que entre las 08:00 y las 11:00 casi no hay eventos de techo menor a 1500 ft.

3.5. Hidrometeoros

Un hidrometeoro consiste en un «meteoro formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera, están en suspensión en ella, son removidas de la superficie de la Tierra por el viento o son depositadas sobre objetos en la superficie o en la atmósfera libre» (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020). Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2017), los hidrometeoros se pueden clasificar en cinco variedades:

- Partículas en suspensión.
- Partículas que precipitan (precipitación).
- Partículas levantadas de la superficie de la Tierra por el viento.
- Depósitos de partículas.
- Trombas.

3.5.1. Hidrometeoros de precipitación

Los hidrometeoros de precipitación están formados por partículas que alcanzan la superficie terrestre, como la llovizna, lluvia, chubasco de lluvia y/o granizo (Organización

Meteorológica Mundial (OMM), 1993). La precipitación depende de tres factores: la presión atmosférica, la humedad y la temperatura. Según Cuadrat y Pita (Cuadrat & Pita, 1997), para la clasificación de la precipitación se utilizan varios criterios, entre ellos el tamaño de las gotas:

- llovizna: gotas de diámetro inferior a 0.5 mm,
- lluvia: gotas de tamaño entre 0.5 y 3 mm,
- aguacero o chubasco: gotas de diámetro superior a 3 mm, y
- granizo: diámetro entre 5 y 50 mm.

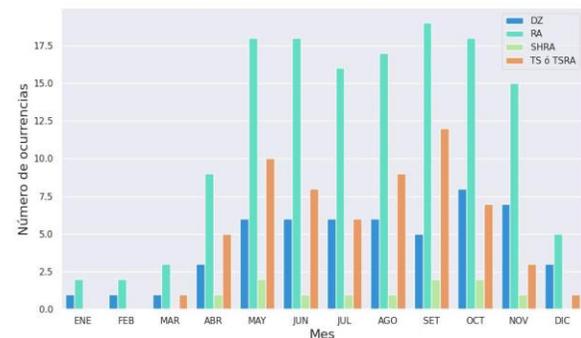


Figura 24. Valores mensuales medios de días con los diferentes tipos de precipitación (DZ: llovizna, RA: lluvia, SHRA: chubasco de lluvia, TSRA: tormenta eléctrica con precipitación o sin ella) que se reportan en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

En la Figura 24 se muestra la cantidad de días en los cuales se observaron los diferentes tipos de precipitación en MROC³. Es importante mencionar que, a lo largo del año, la lluvia es el tipo de precipitación más significativa, la cual ocurre en la mayoría de los casos, mientras que los chubascos de lluvia son los que menos se observan. Se denota claramente en esta figura el periodo canicular entre julio y agosto, cuando se reduce la cantidad de reportes de precipitación con respecto a los otros meses de la época lluviosa, mayo, junio, setiembre y octubre.

³ Se toma como día con precipitación del tipo especificado si se observó al menos en una ocasión.

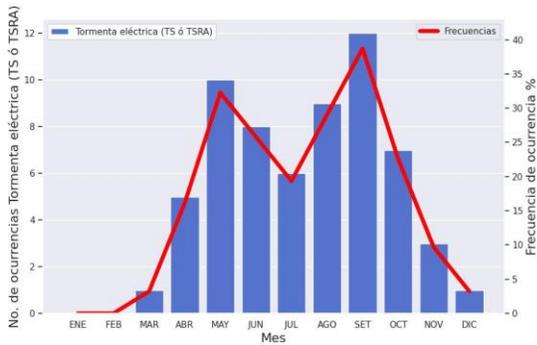


Figura 25. Valores mensuales medios de días con tormenta eléctrica y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.5.2. Tormenta eléctrica (TS o TSRA)

Las tormentas eléctricas son «el resultado de la convección que forma los cúmulos. El ingrediente principal de la convección en los cúmulos es el aire húmedo, más cálido que su entorno, que asciende debido a su menor densidad respecto del aire que lo circunda» (University Corporation for Atmospheric Research, 2014).

En el AIJS los reportes de tormenta eléctrica son prácticamente nulos de enero a marzo, en abril se reportan 5 casos en promedio, mientras que a partir de junio la cantidad de reportes se encuentra entre 8 y 12, excepto julio con 6 casos (ver Figura 25)

3.5.3. Chubascos de lluvia (aguaceros o SHRA)

Los aguaceros o chubascos son precipitaciones intensas y de corta duración, generalmente están asociadas con el desarrollo de convecciones térmicas que favorecen el desarrollo de nubes de tipo cúmulos. «Los chubascos se caracterizan por sus comienzos y finales bruscos, por sus variaciones violentas y rápidas en intensidad y, lo más frecuente, por el aspecto del cielo» (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020).

En la Figura 26 se puede apreciar la cantidad de días por mes en los cuales se reporta en al menos una ocasión chubascos de lluvia

(codificado como SHRA en los reportes ordinarios y especiales, METAR y SPECI respectivamente (*Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018*)), así como sus frecuencias de ocurrencia. Como es de esperar, la mayor cantidad de reportes de este fenómeno ocurren entre abril y noviembre, con una disminución en el mes de julio debido al periodo canicular.

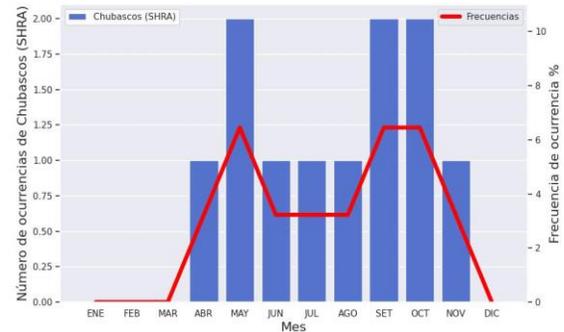


Figura 26. Valores mensuales medios de días con chubascos y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.5.4. Lluvia (RA)

La lluvia es la forma más común de precipitación, está formada por partículas de agua líquida con pequeñas gotas, pero muy dispersas (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020). Las lluvias pueden producirse por convección asociada a la evaporación y condensación de la humedad, o ser de origen orográfico, cuando las masas de aire cargadas de humedad chocan con laderas montañosas, ascienden y se condensan.

Los reportes de lluvia en MROC son mucho más frecuentes que los otros tipos de precipitación, para muestra la Figura 27. La mayor cantidad de eventos ocurren entre mayo y noviembre, setiembre es el mes con mayor cantidad de reportes. Nuevamente se puede apreciar como en julio y agosto se da una ligera disminución en los casos de lluvia que se le atribuyen de nuevo al periodo de la canícula (Solano León, 2015).



Figura 27. Valores mensuales medios de días con lluvia y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.5.5. Llovizna (DZ)

La llovizna se puede describir como precipitación bastante uniforme constituida exclusivamente por menudas gotas de agua (diámetro inferior a 0.5 mm) muy próximas unas con otras (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2020). Se forma de nubes cuya base se encuentra a baja altitud y de poca extensión vertical como los estratos o los estratocúmulos. En general, la llovizna tiende a ser menos intensa que la lluvia, pero en ocasiones puede ser suficiente como para generar acumulados de 1 mm de precipitación en una hora.

Las ocurrencias de llovizna en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría son más frecuentes, como es de esperar durante la época lluviosa, de mayo a noviembre (Alfaro & Hidalgo, Inicio de la temporada de lluvias en América Central, 2021), con un máximo de ocurrencias en octubre (ver Figura 28). En el caso de la llovizna no se aprecia una disminución en el mes de julio, y entre diciembre y marzo, la cantidad de reportes de este fenómeno es escasa.

3.6. Hidrometeoros de suspensión

Los hidrometeoros de suspensión «son partículas suspendidas en la atmósfera, como la neblina o la niebla» (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1993).

3.6.1. Niebla (FG)

La niebla está compuesta de gotitas de agua pequeñas (y a veces partículas diminutas de hielo) en suspensión en la atmósfera, que reducen la visibilidad en la superficie terrestre. La extensión vertical de la niebla oscila entre unos pocos metros a varios cientos de metros (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1993). La importancia del reporte de este tipo de hidrometeoro para las operaciones aeronáuticas recae en que restringe la visibilidad a menos de 1000 m (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).

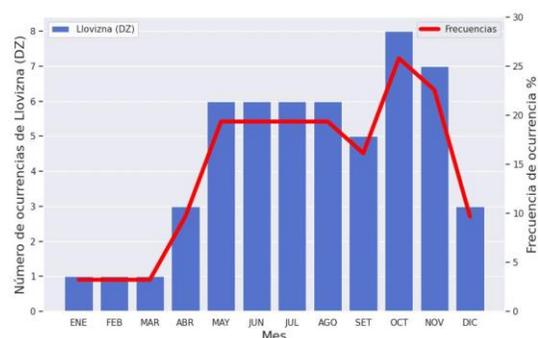


Figura 28. Valores mensuales medios de días con llovizna y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

Nuevamente, los fenómenos de oscurecimiento en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría son mayormente observados durante la época lluviosa, entre mayo y noviembre, como lo muestra la Figura 29 para los eventos de niebla, cabe destacar que se añadieron también los eventos de niebla en bancos (codificados como BCFG en los reportes ordinarios y especiales, METAR y SPECI) para obtener una mejor visualización de las ocurrencias, y en algunos casos muy puntuales, la niebla en bancos puede implicar en el aeropuerto se encuentre bajo mínimos operativos debido a la disminución de la visibilidad sobre las pistas de aterrizaje. En el mes de febrero ocurre un mínimo de ocurrencias, mientras que la mayor cantidad

de casos se observa en octubre, el mes más húmedo del año (ver Cuadro 1).



Figura 29. Valores mensuales medios de días con niebla y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

3.6.2. Neblina (BR)

La neblina es un tipo de niebla ligera, compuesta por gotitas de agua pequeñas en suspensión en la atmósfera (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2017), que restringe la visibilidad entre 1000 m y menos de 5000 m (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018).



Figura 30. Valores mensuales medios de días con neblina y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

La presencia de restricciones en la visibilidad por medio de hidrometeoros en suspensión es del tipo: Neblina (BR), bancos de niebla (BCFG) y niebla (FG); y está muy relacionado con la entrada de la brisa marina del suroeste y altos contenidos de humedad (Mora Sandí, 2020). La neblina afecta la

visibilidad dentro del rango 5000 a 1000 m inclusive (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018); desde mayo hasta noviembre ocurre la mayor cantidad de eventos de neblina en MROC.

Los casos de neblina muestran un comportamiento bastante similar a los casos de niebla. Como es de esperar, los meses en los que más se reporta neblina son entre mayo y noviembre (ver Figura 30), octubre encabeza la ocurrencia de eventos, y se denota una ligera disminución en el mes de julio.

4. CAVOK

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018), para utilizar el término CAVOK (CAVOK hace referencia a la expresión en inglés: «Ceiling en Visibility OK» (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018)) se debe cumplir con los siguientes criterios:

- visibilidad reinante de 10 km o más,
- ausencia de nubosidad de importancia para las operaciones, y
- ausencia de condiciones meteorológicas significativas.



Figura 31. Valores mensuales medios de días con al menos seis reportes con CAVOK y sus frecuencias de ocurrencia en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

En la Figura 31 se muestra la cantidad de días en que en promedio se reporta CAVOK⁴ en al menos 6 reportes no consecutivos, así

⁴ No necesariamente de manera continua.

como el porcentaje mensual que representa. Se observa que la mayor cantidad de días con este comportamiento ocurre entre diciembre y abril, cuando la humedad en la atmósfera es baja en el AIJS, lo que reduce considerablemente las ocurrencias de precipitaciones e inhibe la formación de nubosidad baja (Fallas Sojo, 1987).

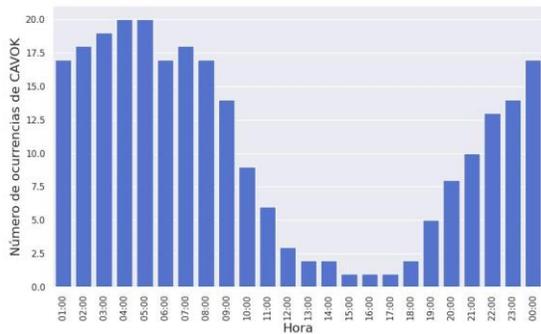


Figura 32. Valores mensuales medios de reportes con CAVOK durante el horario de operación en el AIJS, 2005-2023. Fuente: IMN.

Esto se complementa con los datos representados en la Figura 32, donde se muestra la cantidad media de ocurrencias de CAVOK por hora. La mayor cantidad de reportes con esta condición se registra en la madrugada y horas de la mañana, desde las 00:00 hasta las 08:00 horas, rango en el cual la cantidad de reportes supera las 15 ocurrencias en promedio para cada hora.

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.

Se deduce que en el mes de setiembre se dan la mayor cantidad de eventos de tormenta eléctrica, elemento importante a tomar en cuenta ya que restringe las operaciones en el aeródromo.

Se observa que los meses con mayores acumulados de precipitación son junio, setiembre y octubre, así como también son los meses con mayor cantidad de eventos de oscurecimiento asociados a niebla y neblina.

6. AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de la Oficina de Meteorología del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría del área de observación por el registro y sistematización de los datos utilizados para la elaboración de este documento.

A Nury Sanabria Valverde por facilitar la carta de visibilidad del aeródromo.

A José Alberto Navarro por suministrar la imagen de la ubicación del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

A Mauricio Ortiz por brindar los datos de las características de la estación del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

7. REFERENCIAS

Aeris Holding Costa Rica. (setiembre de 2022). Plan de emergencia del Aeropuerto. Recuperado el 10 de 04 de 2024, de <https://www.sjoairport.com/documentacion/>

Aeris Holding Costa Rica. (setiembre de 2022). Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional. Recuperado el 10 de 04 de 2024, de <https://www.sjoairport.com/documentacion/>

Aeris Holding Costa Rica. (Setiembre de 2023). Terminal de Pasajeros. Obtenido de <https://www.sjoairport.com/documentacion/>

Aeris Holding Costa Rica. (10 de 04 de 2024). Juan Santamaria International

- Airport Passengers (IN and OUT).
Obtenido de
<https://www.sjoairport.com/estadisticas/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2023). Manual de uso de términos meteorológicos. Obtenido de https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/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. (diciembre de 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. (abril de 2012). Clima y temperatura sub-superficial del mar en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 159-171.
- Azorin, N. (2004). SI, The International Units System; SI, El Sistema Internacional de Unidades.
- Bosque, D. (26 de 02 de 2017). Aeropuerto Juan Santamaría: la puerta de entrada a Costa Rica. San José, San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.nacion.com/el-pais/infraestructura/aeropuerto-juan-santamaria-la-puerta-de-entrada-a-costa-rica/FMNPCWHPGBCWTIQWV5LMGR4RDU/story/>
- Campos, M., & Castro, V. (julio de 1992). El clima a sotavento de las montañas de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 2(2), 3-21.
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J., & Zárate, E. (diciembre de 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. Parte 1. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 48-62.
- Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). (2008). El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San José, Costa Rica. Obtenido de <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/>
- Cuadrat, J., & Pita, M. (1997). *Climatología* (7, ilustrada, reimpresión ed.). Cátedra. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=c63LQgAACAAJ>
- Dirección General de Aviación Civil (DGAC). (2021). Directiva Operacional DO-RAC-03-001-2021. San José. Obtenido de <https://sub.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2024/03/DO-RAC-03-001-2021-FINAL.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil (DGAC). (19 de 05 de 2022). AIP Costa Rica. Recuperado el 11 de 04 de 2024, de <https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2022/05/PARTE-3-AD-AIRAC-28-19MAY22.pdf>
- Dirección General de Aviación Civil (DGAC). (2023). AIP Costa Rica. Cartas relativas al aeródromo. Obtenido de <https://www.cocesna.org/aipca/AIPM>

- R/AIP_2301/Eurocontrol/COSTA%20RICA/2023-12-28-AIRAC/html/index-es-ES.html
- Fallas Sojo, J. (1987). Método objetivo de pronóstico de nieblas para el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Tesis de grado para optar por el título de Licenciado en Meteorología. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José.
- Flores Silva, E. (1991). Geografía de Costa Rica. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2010). Climatología Aeronáutica Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2020). Glosario Meteorológico. San José, Costa Rica. Obtenido de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/glosariometeorologico/>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2023). Climatología Aeronáutica Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). Clima en Costa Rica y Variabilidad Climática. Recuperado el 13 de 04 de 2024, de Análisis por regiones: Valle Central: <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costa-rica>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (marzo de 2024). Location indicators. Recuperado el 10 de 04 de 2024, de ICAO Store: <https://store.icao.int/en/location-indicators-doc-7910>
- Jiménez Guerra, A. (1996). Caracterización física de lluvias bajo dos regímenes pluviométricos y un perfil altitudinal en Costa Rica. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Manso Sayao, P. C., & Varas Vera, A. (Diciembre de 1990). Climatología aeronáutica en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos(1), 1-18.
- Manso Sayao, P. C., & Vargas Vera, A. (Diciembre de 1990). Climatología aeronáutica en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 1(1990), 5-18. Obtenido 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. (setiembre de 2005). Distribución espacial y ciclo diurno de la temperatura ambiente y punto de rocío en una región de los Andes tropicales de Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos(12), 149-158.
- Mora Sandí, N. (2020). La brisa marina en el Pacífico central de Costa Rica durante Ticosonde-NAME 2004: observaciones y modelado numérico. Trabajo final de graduación. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Muñoz, A. C., Fernández, W., Gutiérrez, J., & Zárate, E. (Julio de 2002). Variación estacional del viento el Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 9(2002-1), 1-13. Obtenido de

- <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20021/html5/index.html?page=1&noflash>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2018). Anexo 3: Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional.
- 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). (2014). Guía de sistemas meteorológicos de observación y distribución de información para los servicios meteorológicos aeronáuticos. Genève, Suiza. Obtenido de https://library.wmo.int/viewer/29198/download?file=wmo_731_es.pdf&type=pdf&navigator=1
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017). Atlas Internacional de Nubes. Obtenido de <https://cloudatlas.wmo.int/es/home.html>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). Guía de instrumentos y métodos de observación. Ginebra.
- Pérez D'Gregorio, Rogelio. (2002). Sistema Internacional de Unidades SI. Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela, 62(1), 47- 68.
- Recuperado en 31 de mayo de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0048-77322002000100010&lng=es&tlng=es.
- Solano León, E. (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 grado para optar por el título de Licenciado en Meteorología. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Solano, J., & Villalobos, R. (julio de 2001). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfica Climático de Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, 8(1), 26-39.
- University Corporation for Atmospheric Research. (2014). Tormentas locales severas tropicales. Obtenido de https://www.meted.ucar.edu/tropical/synoptic/local_storms_es/navmenu.php?tab=1&page=1-1-0&type=flash
- Vieira Agudelo, S., & Poveda Jaramillo, G. (marzo de 2002). Marea diurna y semidiurna en los registros de tiempo de presión atmosférica superficial en Guatapé y Girardota, Antioquia. Meteorología Colombiana(5), 75-82.