

## ANEXO 5



Organismo  
de Evaluación  
y Fiscalización  
Ambiental

---

### REPORTE DE MODELAMIENTO METEOROLÓGICO

---

**RR-057-2024-STECC**

**Título del estudio** : Reporte del modelamiento meteorológico para la Evaluación ambiental de causalidad de la población de moscas en las granjas pecuarias y establos ganaderos de los sectores Huanchaquito, Bello Horizonte y Winchanzao, ubicados en el distrito Huanchaco, provincia Trujillo, departamento La Libertad, en el 2024.

**Etapas** : Presentación de resultados del reporte meteorológico

**Expediente de evaluación** : 001-2024-DEAM-STECCódigo de acción : 0003-8-2024-411

**Tipo** : Programada

**Fecha de aprobación** : 11/10/2024**Reporte N.º** : RR-057-2024-STECC

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

|   |                                                                             |                                                                                            |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | <b>Tipo de evaluación</b>                                                   | Vigilancia                                                                                 |
| B | <b>Distrito</b>                                                             | Huanchaco                                                                                  |
| C | <b>Provincia</b>                                                            | Trujillo                                                                                   |
| D | <b>Departamento</b>                                                         | La Libertad                                                                                |
| E | <b>Ámbito de estudio</b>                                                    | Sectores Huanchaquito, Bello Horizonte y Wichanzao                                         |
| F | <b>Unidades fiscalizables/ actividades económicas en la zona de estudio</b> | Actividades de crianza ganadera intensiva para la producción de carne, leche y otros usos. |

Profesionales que aportaron a este documento:

| N.º | Nombres y apellidos              | Profesión           | Actividad desarrollada | Nº de colegiatura |
|-----|----------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| 1   | Francesco Renato Urdanivia Lermo | Ingeniero ambiental | Gabinete               | CIP 217404        |

## 2. OBJETIVOS

Caracterizar las variables meteorológicas presentes en la zona de estudio empleando datos simulados del periodo 2018-2023.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Información de datos meteorológicos

La información meteorológica se generó mediante la aplicación del modelo WRF, el cual es un modelo numérico que sirve para la simulación y predicción del estado atmosférico a escalas de corto, mediano y largo plazo. Este modelo fue creado bajo un esfuerzo colaborativo entre diversas instituciones americanas como el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés), la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NCEP, por sus siglas en inglés), entre otras. Este modelo es eficiente tanto para la investigación de fenómenos a escala espacial local, regional y escala sinóptica, cuya principal característica es que resuelve ecuaciones de tipo euleriano no-hidroestático. Es por este motivo y las constantes contribuciones desde su desarrollo a la actualidad que este modelo está en la cima de los modelos meteorológicos regionales.

Para las simulaciones del modelo WRF, se ha usado como entrada los datos meteorológicos de reanálisis ERA 5, los cuales tuvieron un pretratamiento para su uso en el modelo WRF.

ERA 5 tiene una resolución espacial de 25 km y temporal de 1 hora. Las simulaciones consistieron en generar información meteorológica de superficie y de altura en alta resolución para el área de estudio; para este proceso se utilizaron 2 anidamientos: un anidamiento que generaba información meteorológica con una resolución desde 25 km (resolución de la data de entrada) a 5 km y el otro anidamiento que generaba información desde una resolución de 5 km a 1 km.

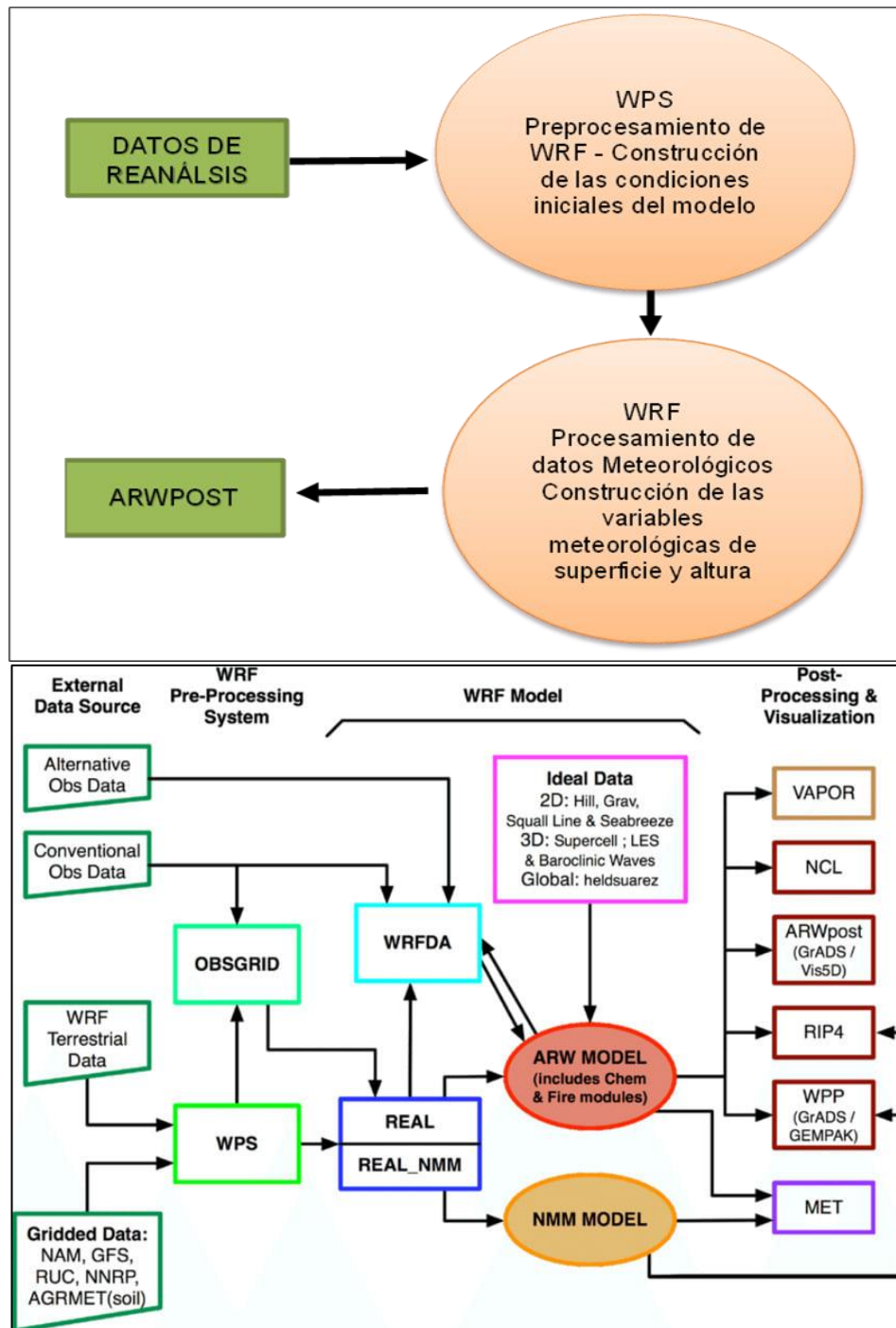
**Tabla 3.1.** Información del modelo meteorológico

| Nombre del modelo meteorológico | Versión | Resolución espacial | Resolución temporal |
|---------------------------------|---------|---------------------|---------------------|
| WRF                             | 4.3     | 1 km                | 1 hora              |

**Tabla 3.2.** Parametrizaciones físicas usadas para las simulaciones del modelo WRF

| Parametrizaciones físicas | Esquema                                          |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| Microfísica               | Thompson                                         |
| Capa límite planetaria    | Universidad de Yonsei                            |
| Superficie de la tierra   | Noah-MP                                          |
| Modelo de radiación       | RRTMG- Modelo de transferencia radiactiva rápida |
| Capa superficial          | Revised MM5 Scheme                               |

El periodo de modelamiento fue de 6 años (periodo 2018-2023), con una resolución espacial de 1 km y temporal de 1 hora, para un dominio de modelamiento de 50 km x 50 km. Con las salidas generadas por el modelo meteorológico WRF, se generaron los datos de entrada para el siguiente proceso que refiere al modelamiento de olores, debido a las actividades de crianza ganadera intensiva para la producción de carne, huevos, leche y otros usos, ubicados en el distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo y Departamento de La Libertad.



**Figura 3.1.** Diagrama de flujo del procedimiento para la generación de las salidas meteorológicas con el modelo WRF



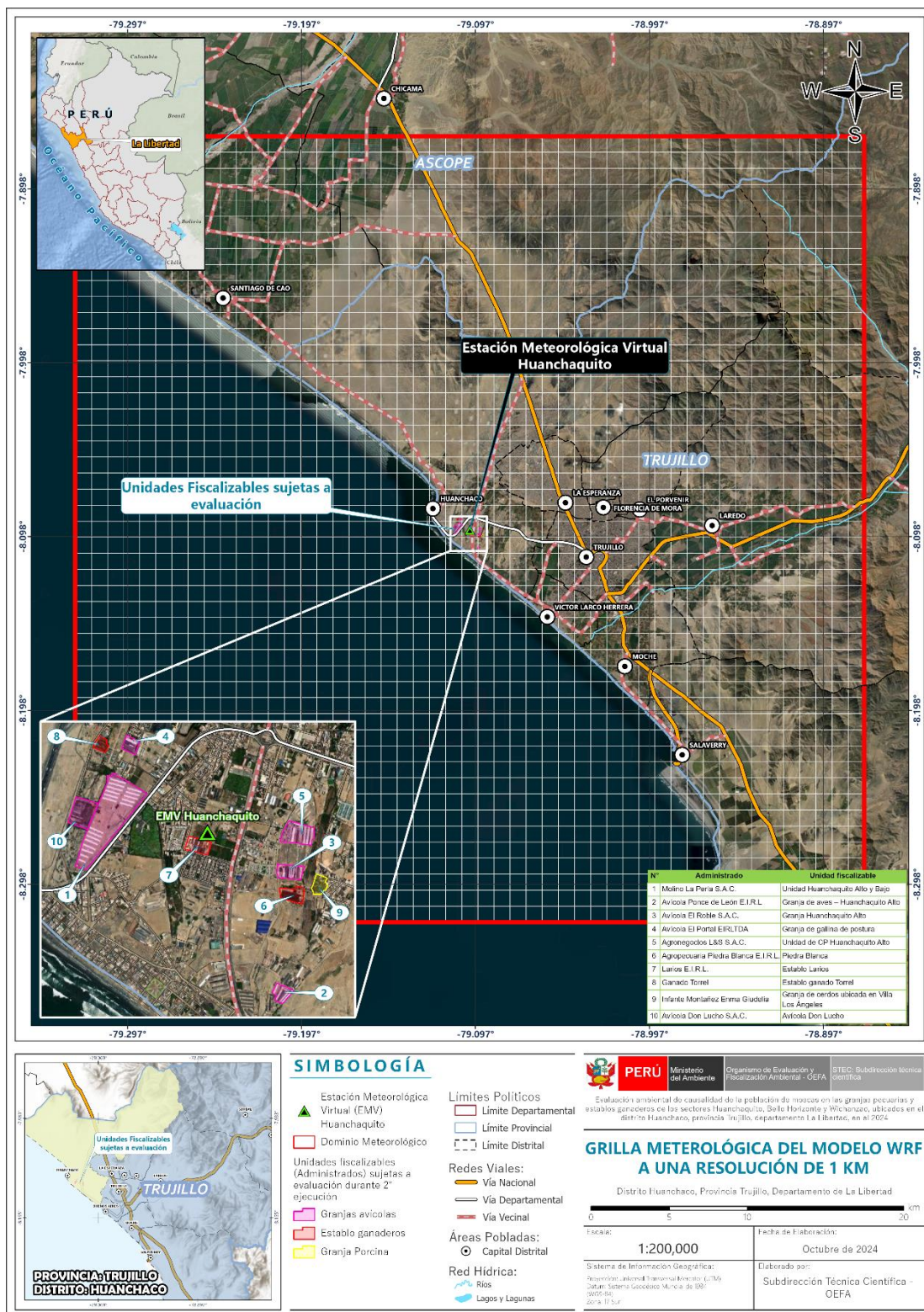


Figura 3.2. Dominio del modelo meteorológico

### **3.2. Información de los datos estáticos para el modelamiento**

#### **Topografía del área de estudio**

El área de estudio, correspondiente al dominio de modelamiento, presenta una topografía suave, caracterizada por un relieve poco accidentado. Comienza en el oeste con un terreno llano, casi al nivel del mar, y continúa con una sucesión de pampas, colinas, valles y tablazos que se extienden hacia el este, hasta alcanzar las estribaciones andinas.

Las altitudes en el dominio de modelamiento variaron entre los 0 msnm a 2550 msnm.

En la Figura 4.3, se muestra la topografía utilizada para la simulación, con una resolución de 5 m generada a partir de las imágenes satelitales LANDSAT 1.

#### **Usos de suelo en el área de estudio**

El área de estudio, correspondiente al dominio de modelamiento, limita al oeste con el mar, donde desembocan cuerpos de agua que se originan en la parte oriental de la cordillera. Predominan en esta zona los suelos desnudos y los suelos agrícolas, junto con una notable área urbana. También se observan matorrales, pastizales y zonas arbustivas en menor proporción, especialmente ubicadas en el noreste del dominio de modelamiento.

En la Figura 4.4, se muestra el mapa de uso de suelos utilizado para la simulación; se graficó a partir de la base de datos de producto WORLDCOVER. Este producto tiene una resolución espacial de 10 m y ha sido con imágenes del satélite Sentinel-1 y Sentinel-2.



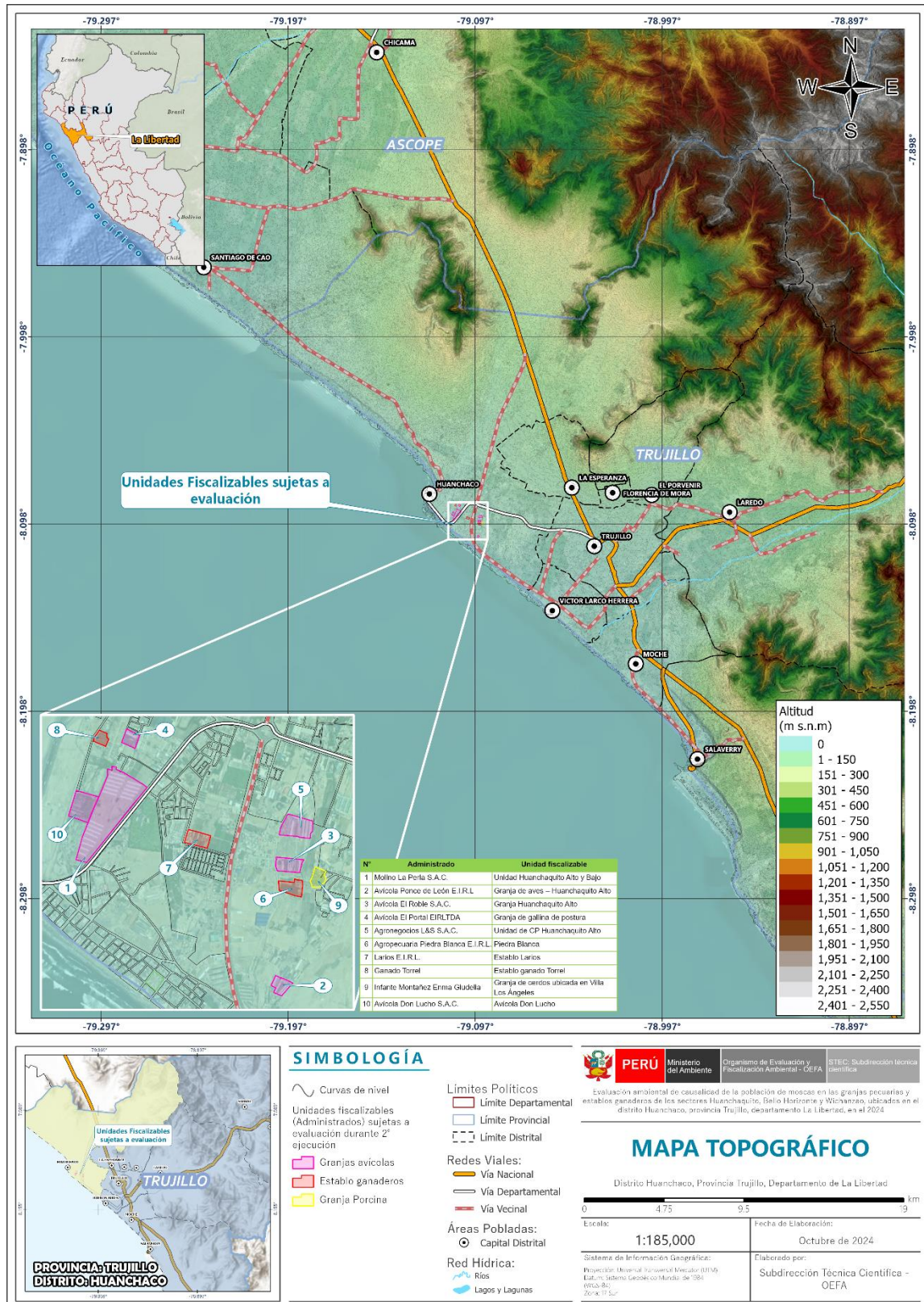


Figura 3.3. Mapa topográfico del área de estudio





**Figura 3.4. Mapa de uso de suelos del área de estudio**

#### **4. ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio corresponde al área del dominio<sup>1</sup> meteorológico, el que tiene un tamaño espacial de 50 km x 50 km. El centroide de este dominio alberga la ubicación geográfica de las actividades de crianza ganadera intensiva para la producción de carne, huevos, leche y otros usos, ubicados en el distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo y Departamento de La Libertad.

---

<sup>1</sup> Un dominio meteorológico se refiere al área geográfica que está siendo simulada y estudiada



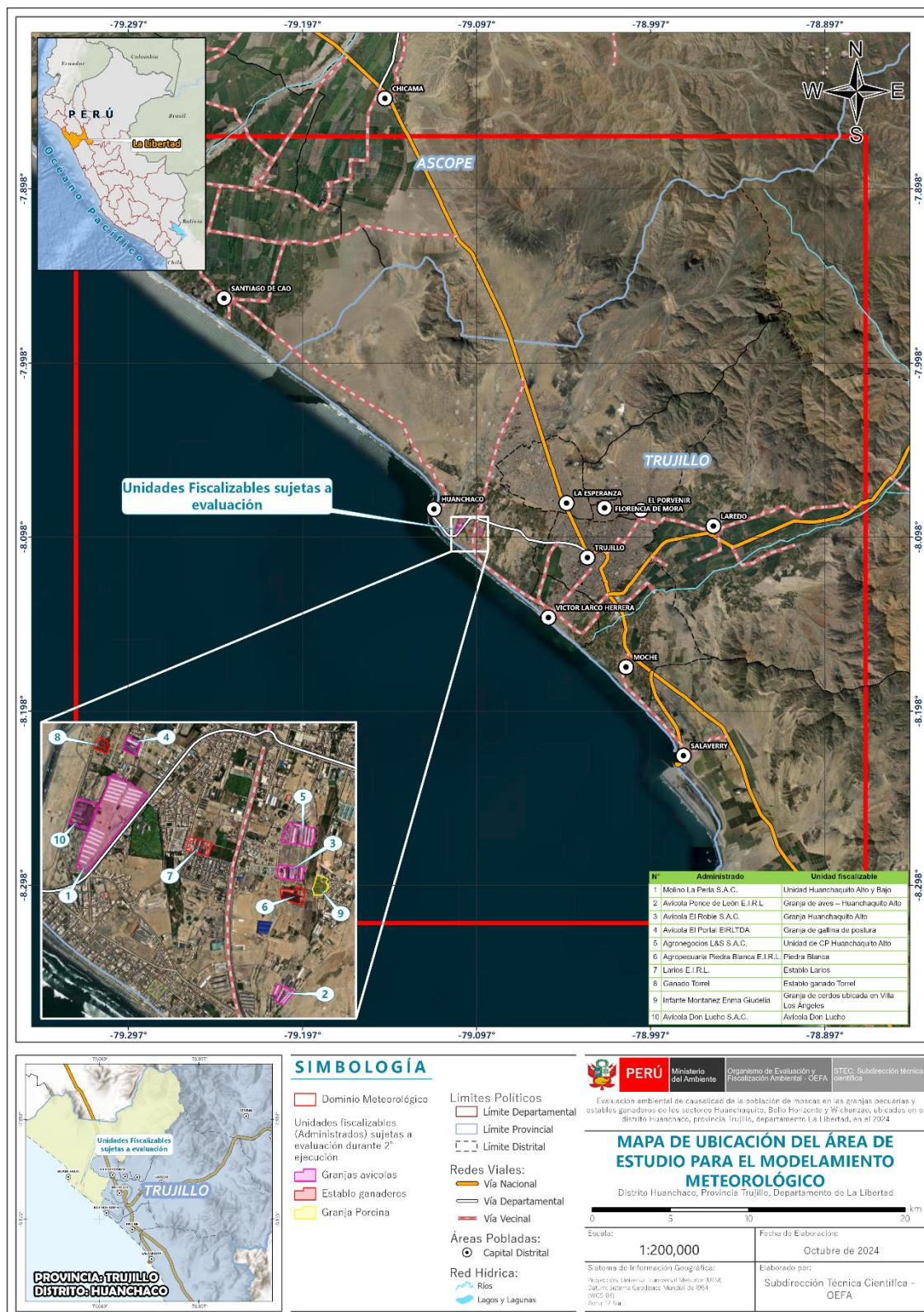


Figura 4.1. Ubicación del área de estudio

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Clasificación climática

El Mapa climático nacional, elaborado por el SENAMHI (2020) a partir de 30 años de información climática (1981-2010), ha servido para determinar los índices climáticos y delimitar el trazado de las áreas de acuerdo con la clasificación de climas de Thornthwaite, Según este mapa, las unidades climáticas dentro del dominio de modelamiento son las siguientes: árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año templado (E(d)B) y semiárido con invierno seco templado (D(i)B').

### 5.2. Tiempo y clima

Para el análisis de tiempo y clima, se ha utilizado la información generada por el modelo WRF. El periodo analizado comprende los años del 2018 al 2023. Una vez generada la información meteorológica modelada, se verificó su representatividad para el área de estudio. Luego se extrajo la información meteorológica de superficie de un punto, al se llamó estación meteorológica virtual (EMV Trujillo), mediante la interfaz del lenguaje de programación Python y NCL (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1.** Información de la estación meteorológica virtual (EMV) Trujillo

| N.º | Nombre de la estación | Coordenadas Geográficas (WGS 84) |           | Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 17 L |           | Altitud (m.s.n.m.) | Periodo de Modelamiento |
|-----|-----------------------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|--------------------|-------------------------|
|     |                       | Latitud                          | Longitud  | Este (m)                           | Norte (m) |                    |                         |
| 1   | EMV Trujillo          | 8.09349°S                        | 79.1004°W | 709319                             | 9104880   | 39                 | 2018-2023               |

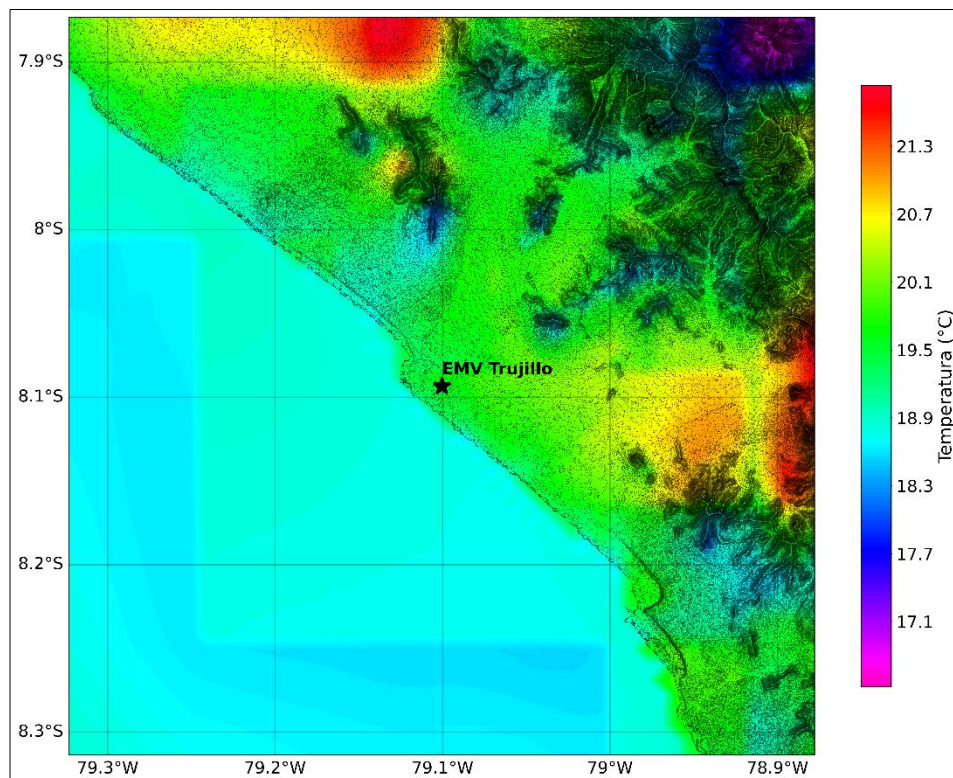
El clima en el área de estudio es peculiar, las temperaturas máximas en verano fluctúan entre 20°C y 25 °C, aunque durante el fenómeno del Niño puede llegar a los 30°C. En general se tienen temperaturas diurnas poco variables en el tiempo, que resultan agradables de mayo a noviembre. Las temperaturas mínimas oscilan entre los 14°C y 18°C, en invierno puede haber sensación de frío después de la medianoche. La humedad relativa es alta por las noches y durante las primeras horas del día, y en el verano es relativamente baja hacia el mediodía.

En el invierno, la cobertura nubosa durante el día y la noche es permanente, aunque después del mediodía hay presencia de brillo solar, Los vientos en general son débiles y moderados.

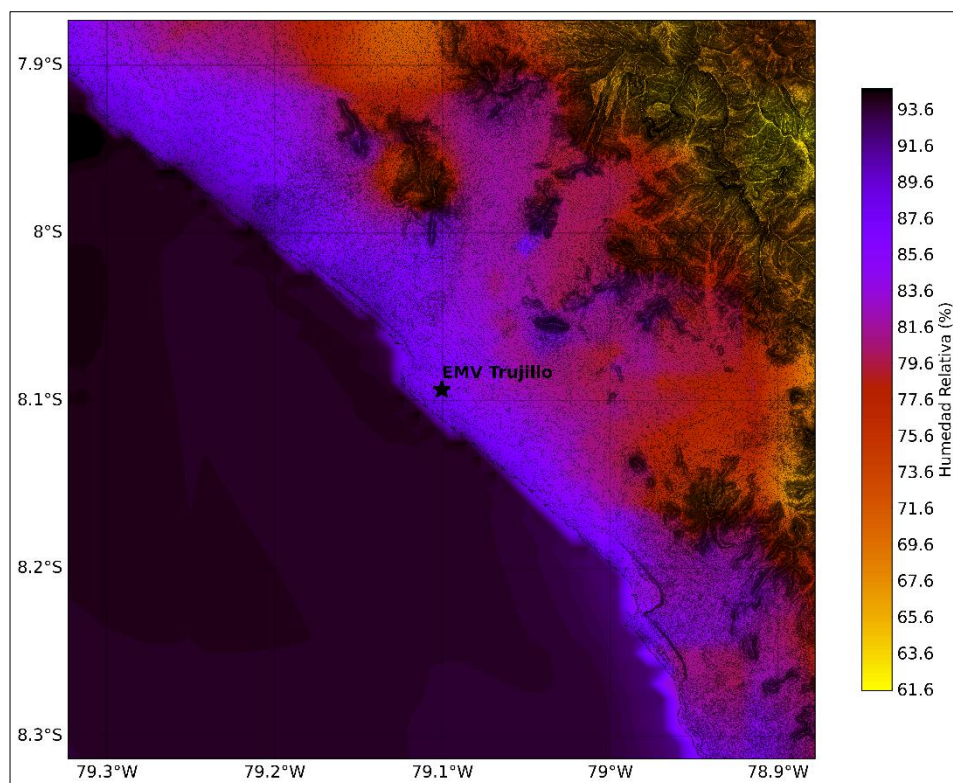
Asimismo, las estribaciones de la cordillera favorecen el flujo de aire húmedo procedente de la Amazonía, el cual converge con las brisas de la vertiente occidental, favoreciendo en la estación de verano una mayor frecuencia de lluvias ligeras (garúas)

La temperatura promedio durante el 2018-2023 en el dominio de modelamiento varió entre los 21.8 °C en los lugares con menor altitud hasta los 16.5 °C en lugares con mayor altitud (Figura 5.1). Asimismo, la humedad relativa en promedio varió entre 61.6 % y 94.7 % (Figura 5.2). Además, los vientos tuvieron una dirección condicionada por la topografía de la zona y una velocidad promedio que varió entre 0.1 m/s y 5.3 m/s (Figura 5.3).

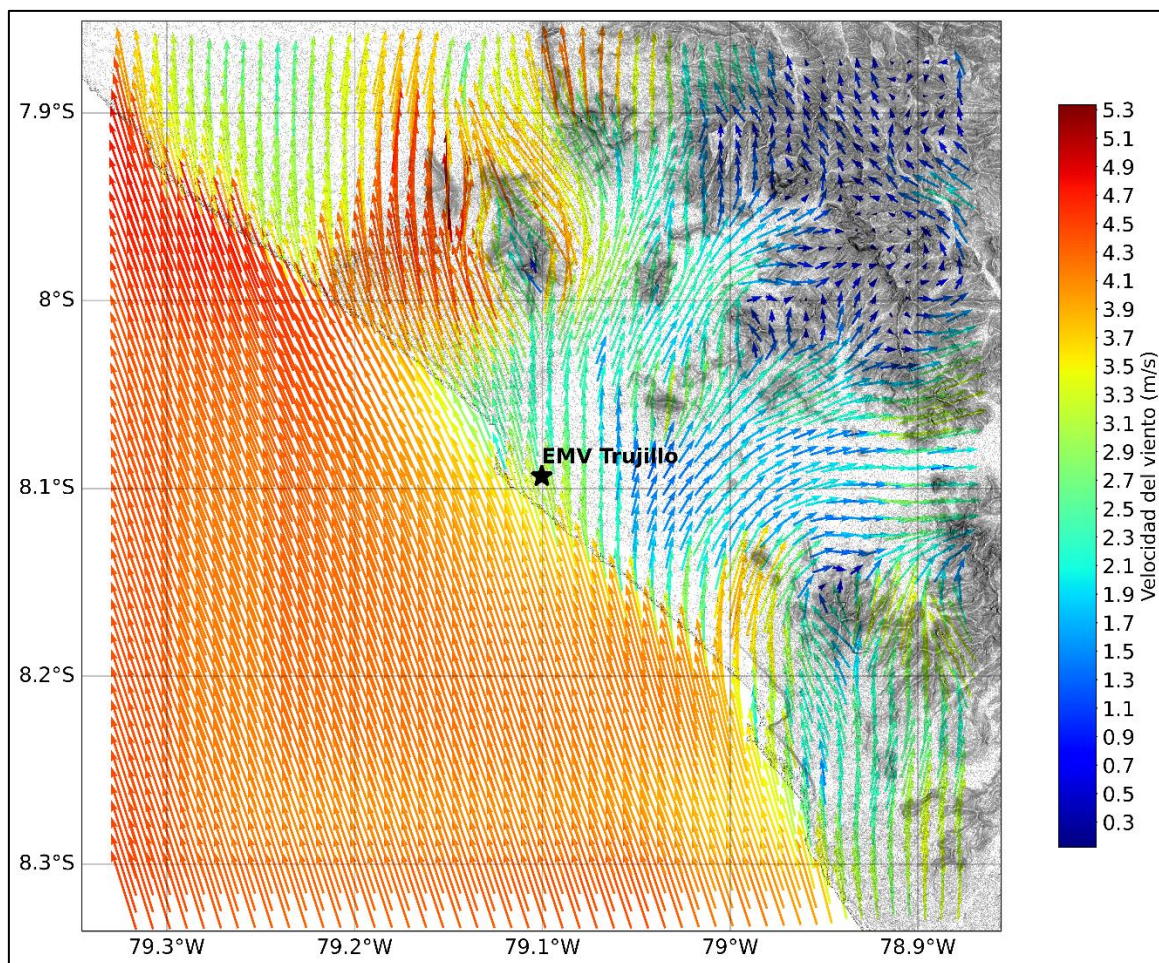




**Figura 5.1.** Variación espacial de la temperatura promedio durante el periodo 2018-2023 en el dominio de modelamiento



**Figura 5.2.** Variación espacial de la humedad promedio durante el periodo 2018-2023 en el dominio de modelamiento



**Figura 5.3.** Variación espacial de la dirección y velocidad de los vientos promedio durante el periodo 2018-2023 en el dominio de modelamiento

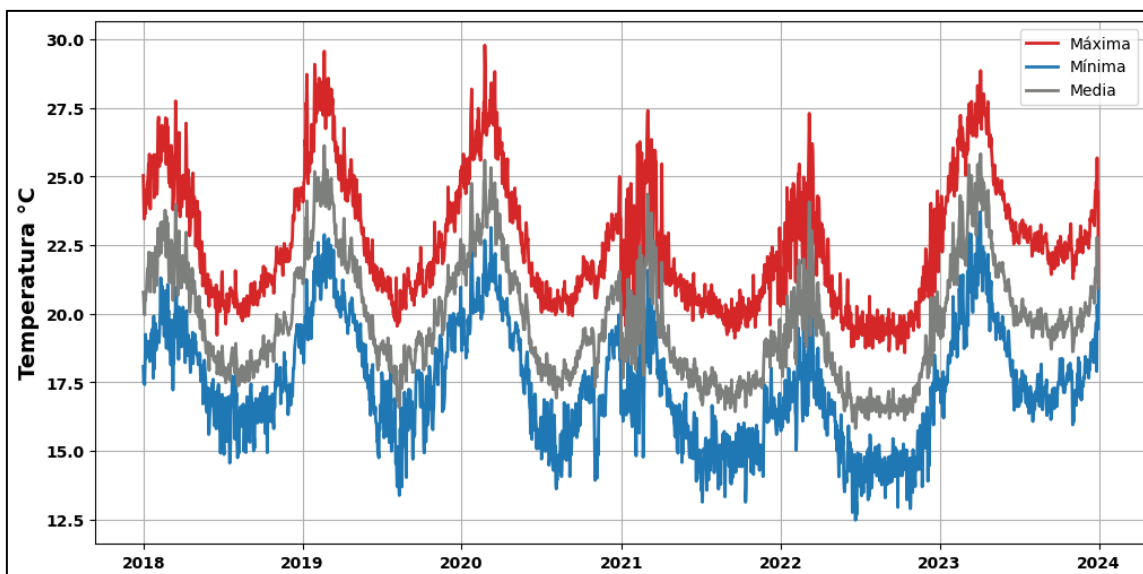
A continuación, se describe el comportamiento de las principales variables meteorológicas en el entorno de la estación meteorológica virtual (EMV) Trujillo.

### 5.2.1. Temperatura

Las temperaturas disminuyen con el aumento de la altitud y dependen de la cobertura nubosa, de la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie, de la humedad y de la intensidad del viento. El régimen estacional y espacial de la temperatura del aire en el área de estudio está determinado por su ubicación geográfica y las características del terreno, guardando estrecha relación con la altitud (gradiente vertical de la temperatura).

La temperatura media anual en el entorno de la EMV Trujillo es de 19.7 °C, la temperatura máxima alcanza en promedio los 22.6 °C, con una máxima absoluta registrada de 29.8 °C; mientras que la temperatura mínima registra en promedio 17.4 °C, con un valor absoluto que ha alcanzado los 12.5 °C (Figura 5.4).

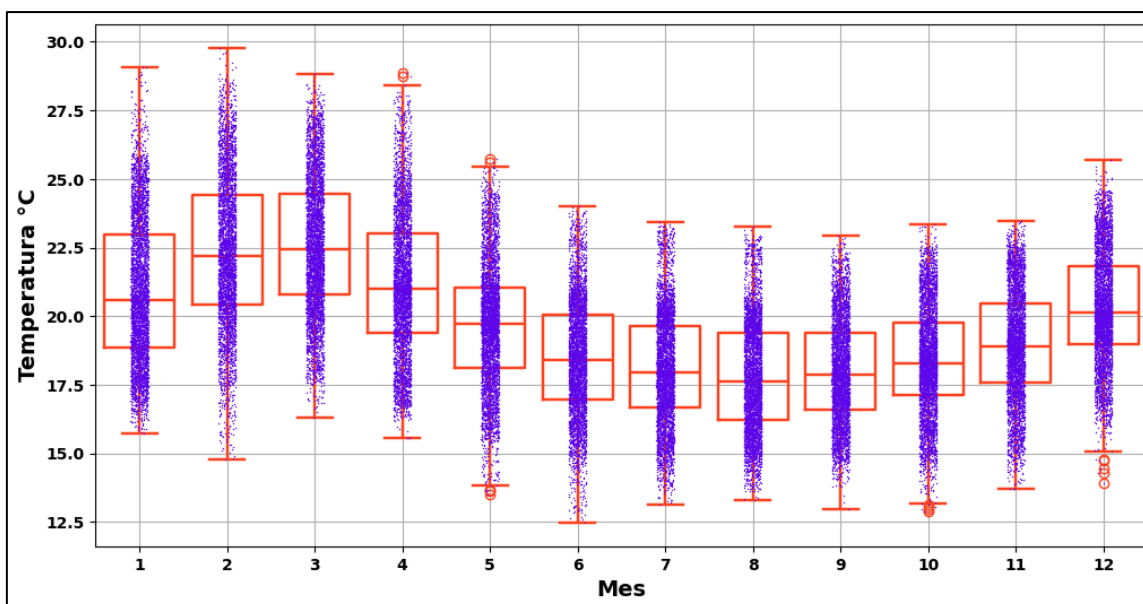




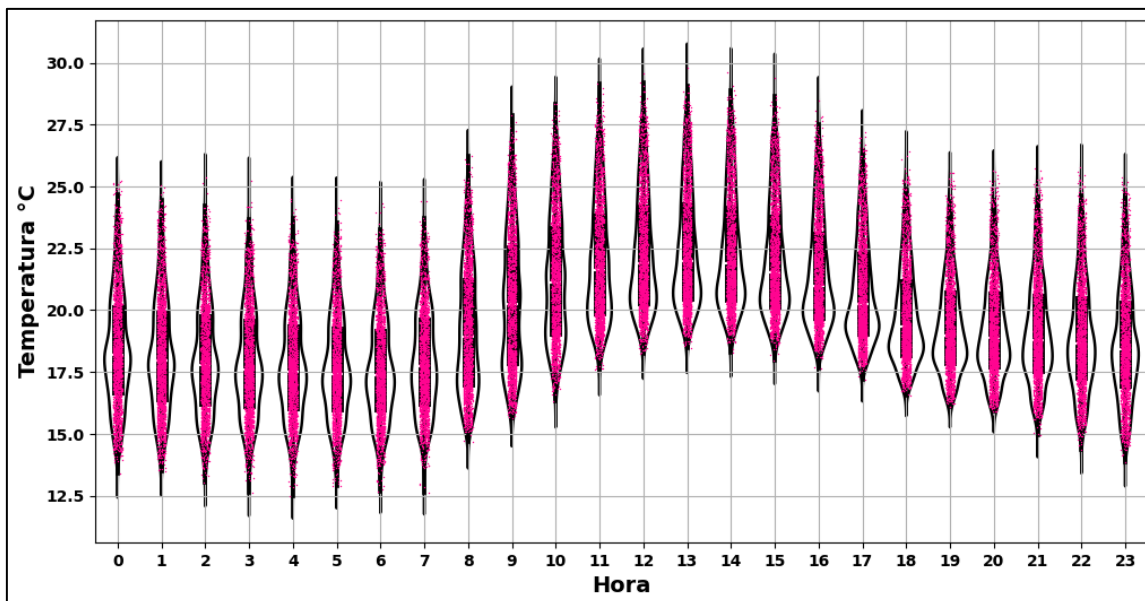
**Figura 5.4.** Variación temporal diaria de la temperatura máxima, mínima y media durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

La temperatura máxima y la temperatura mínima presenta una variabilidad marcada con respecto a los meses y estaciones del año, presentando los valores más bajos durante julio a setiembre (invierno) y los valores más altos durante enero a abril (verano). (Figura 5. 5).

En cuanto al comportamiento horario de la temperatura, se observó que las temperaturas más altas durante el día se registraron entre las 10:00 horas y 17:00 horas, y las temperaturas más bajas se registraron entre las 4:00 horas y 6:00 horas (Figura 5. 6). Es importante recordar que a mayor temperatura se incrementa el potencial de dispersión de contaminantes mientras que a menor temperatura disminuye.



**Figura 5.5.** Variabilidad mensual de la temperatura máxima y mínima durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

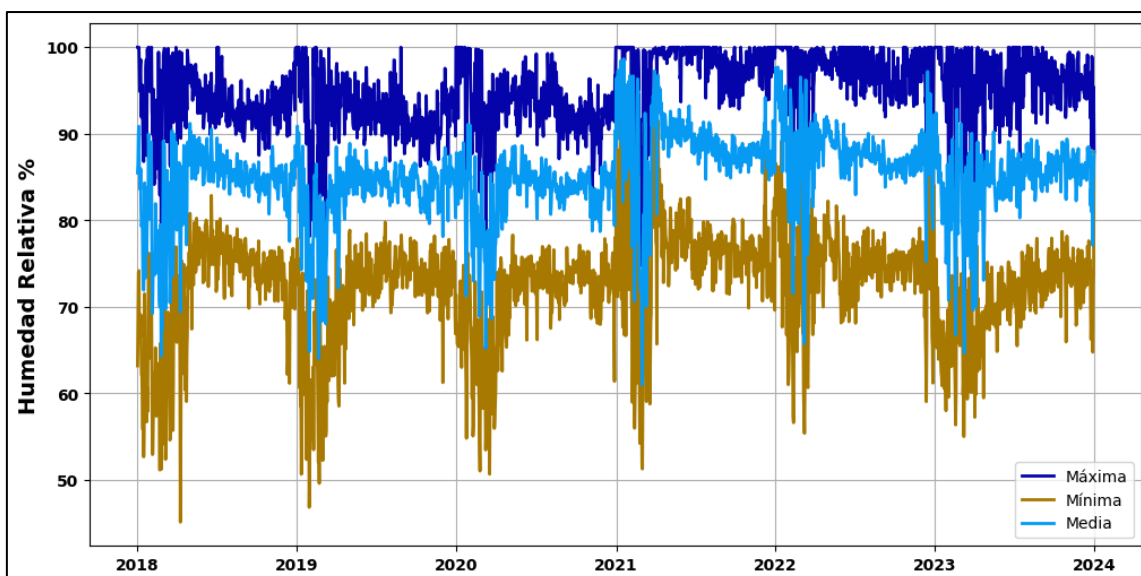


**Figura 5.6.** Variabilidad y promedio horario de la temperatura durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

### 5.2.2. Humedad relativa

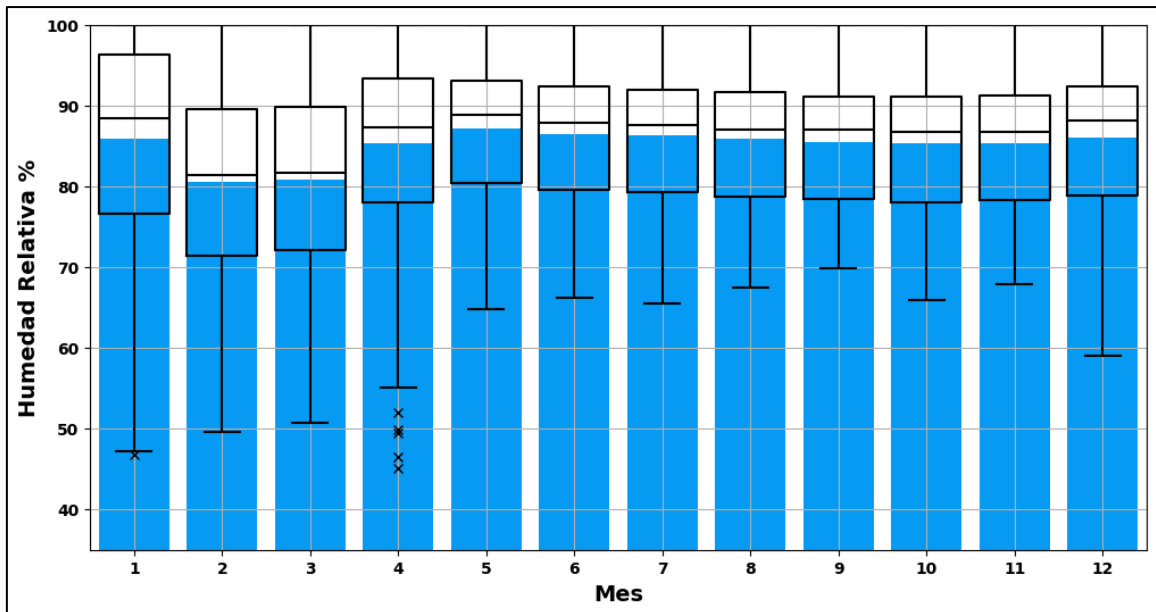
La humedad depende de diversos factores, entre los que se encuentra la composición de las masas de aire que llegan por medio del viento, la disponibilidad de cuerpos de agua y masas vegetales, el régimen de precipitaciones, las tasas de evaporación y las temperaturas promedio del aire (Ahrens, 2009). La humedad relativa es un coeficiente, expresado en tanto por ciento, entre la tensión de vapor observada y la tensión saturante del vapor con respecto al agua a la misma temperatura y presión. La humedad relativa se expresa en unidades enteras que van de cero (0) % hasta 100% (IDEAM, 2019).

La humedad relativa media en el entorno de la EMV Trujillo es de 85.1 %, siendo el valor medio diario más alto 95.1% y el valor medio diario más bajo 72.4 % (Figura 5.7). Asimismo, la humedad relativa presenta una variabilidad con respecto a las estaciones del año, presentando los valores más bajos durante febrero y marzo y los valores más altos durante mayo y junio (Figura 5.8). A nivel horario, la humedad relativa durante el día presenta los valores más bajos entre las 10:00 horas y 16:00 horas, y los valores más altos entre las 4:00 horas y 6:00 horas (Figura 5.9).

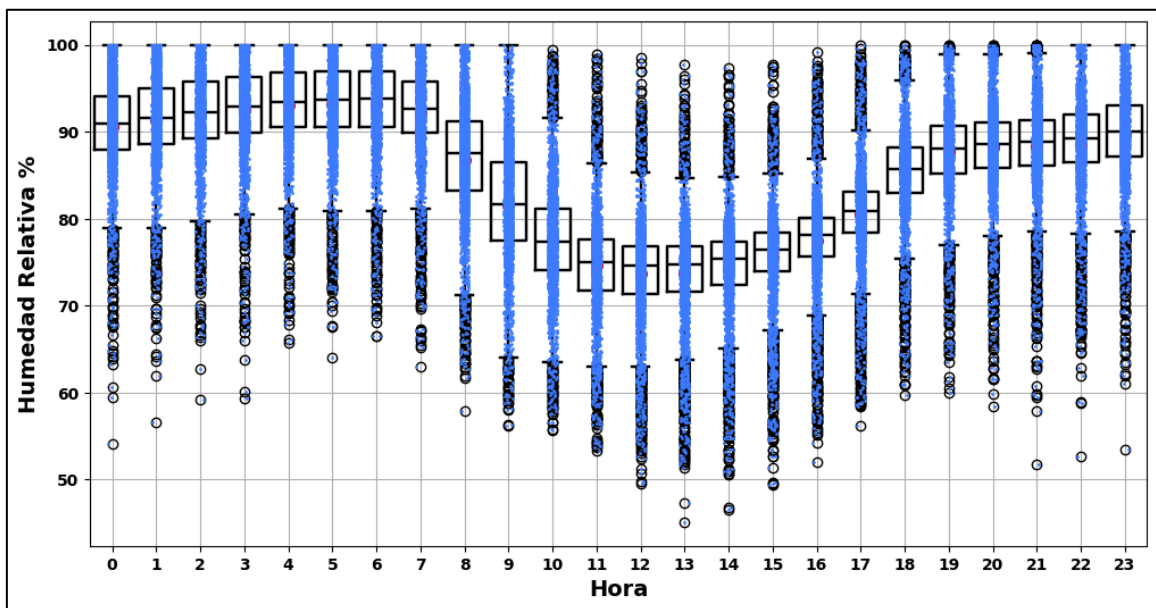


**Figura 5.7.** Variabilidad diaria de la humedad relativa durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo





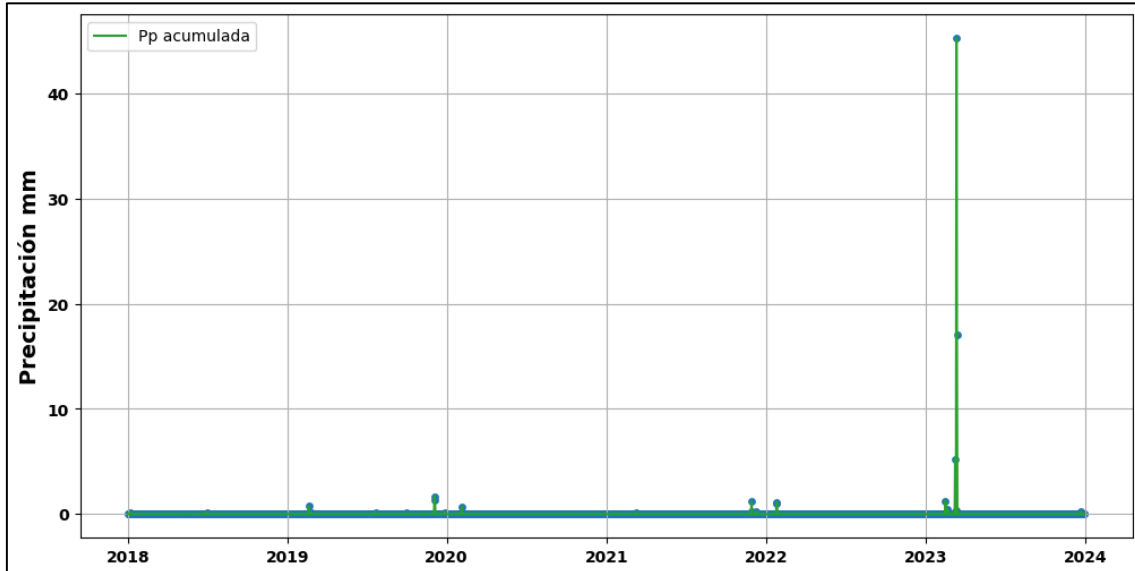
**Figura 5.8.** Variabilidad y promedio mensual de la humedad relativa durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo



**Figura 5.9.** Variabilidad y promedio diario de la humedad relativa durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

### 5.2.3. Precipitación

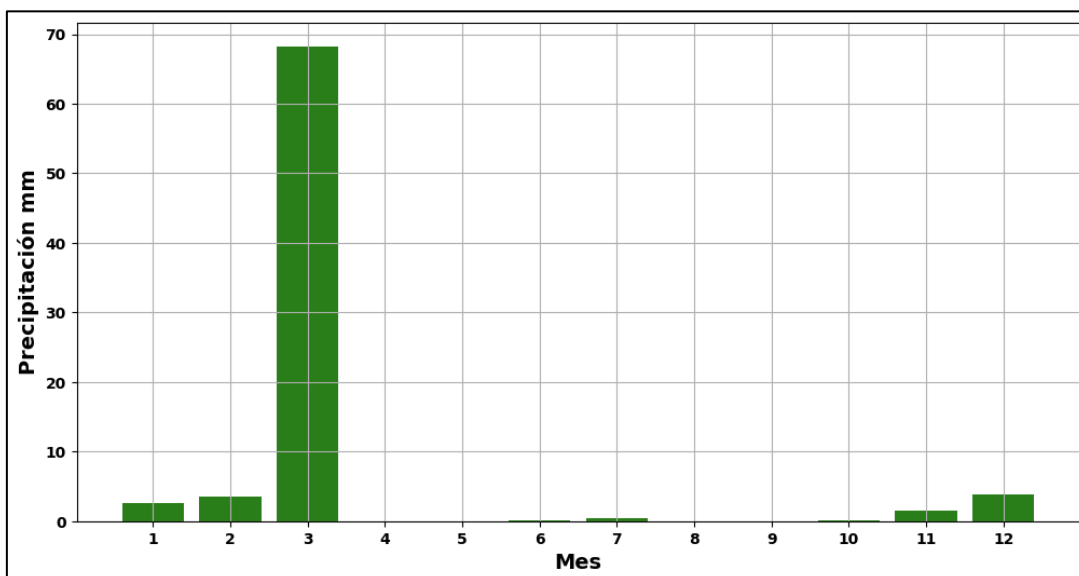
El régimen de precipitaciones en el entorno de la EMV Trujillo es escaso, sin embargo, se observa que las principales precipitaciones ocurren entre los meses de diciembre a marzo durante el verano. (Figura 5.10 y Figura 5.11).



**Figura 5.10.** Variabilidad diaria de la precipitación durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

Las precipitaciones en el área de estudio son ligeras y esporádicas, principalmente ocurren durante los meses de verano, se manifiestan principalmente en horas de la tarde o primeras horas de la noche. Asimismo, son de corta duración y ocasionalmente se presentan descargas eléctricas asociadas a tormentas. (SENAMHI, 2021). La precipitación total acumulada media para el periodo 2018-2023 es de 13.4 mm, siendo el año 2023 el que presentó el mayor acumulado con 70 mm y el año 2018 el menor acumulado con 0.6 mm.

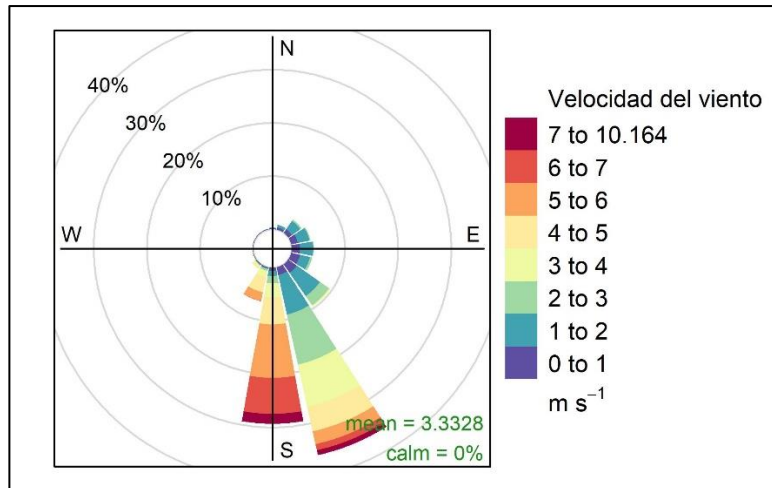
Es importante destacar que, en marzo de 2023, se registró un acumulado de precipitaciones inusuales como consecuencia del fenómeno meteorológico Yaku



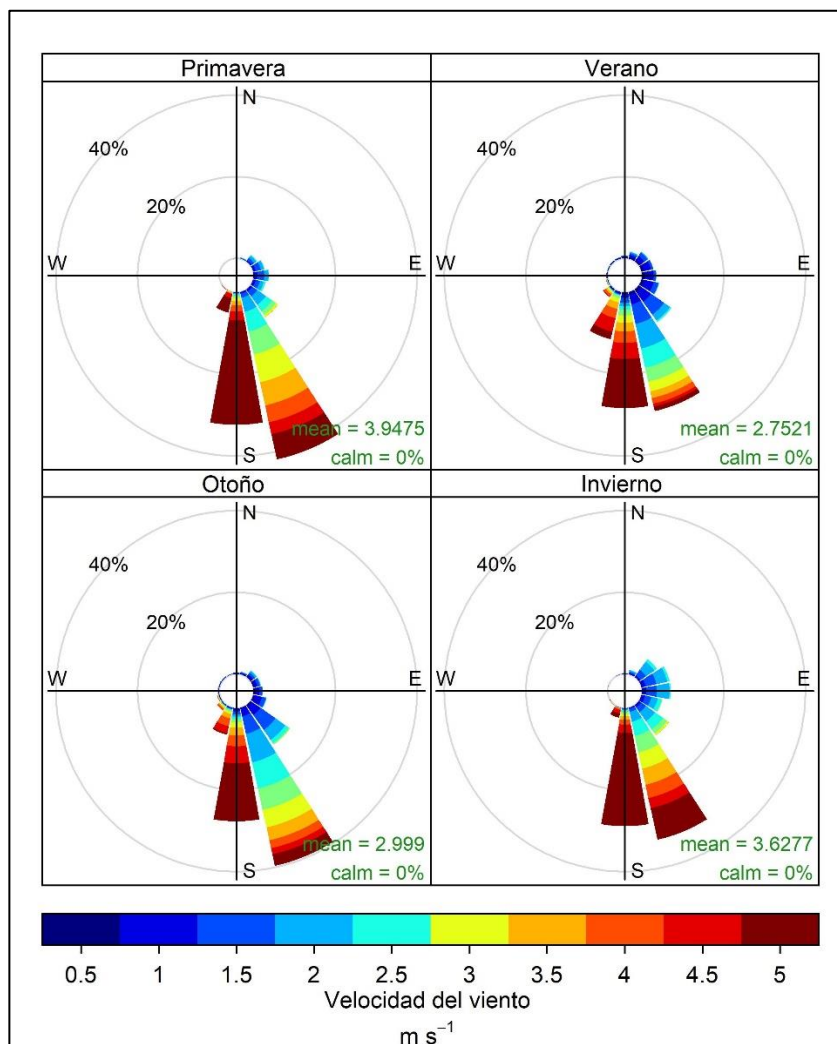
**Figura 5.11.** Variabilidad mensual de la precipitación durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

#### 5.2.4. Viento (velocidad y dirección)

La velocidad promedio del viento en el entorno de la EMV Trujillo es de 3.3 m/s, con una dirección predominante del sur sureste (SSE) y con una dirección importante del sur (S) (Figura 5.12).



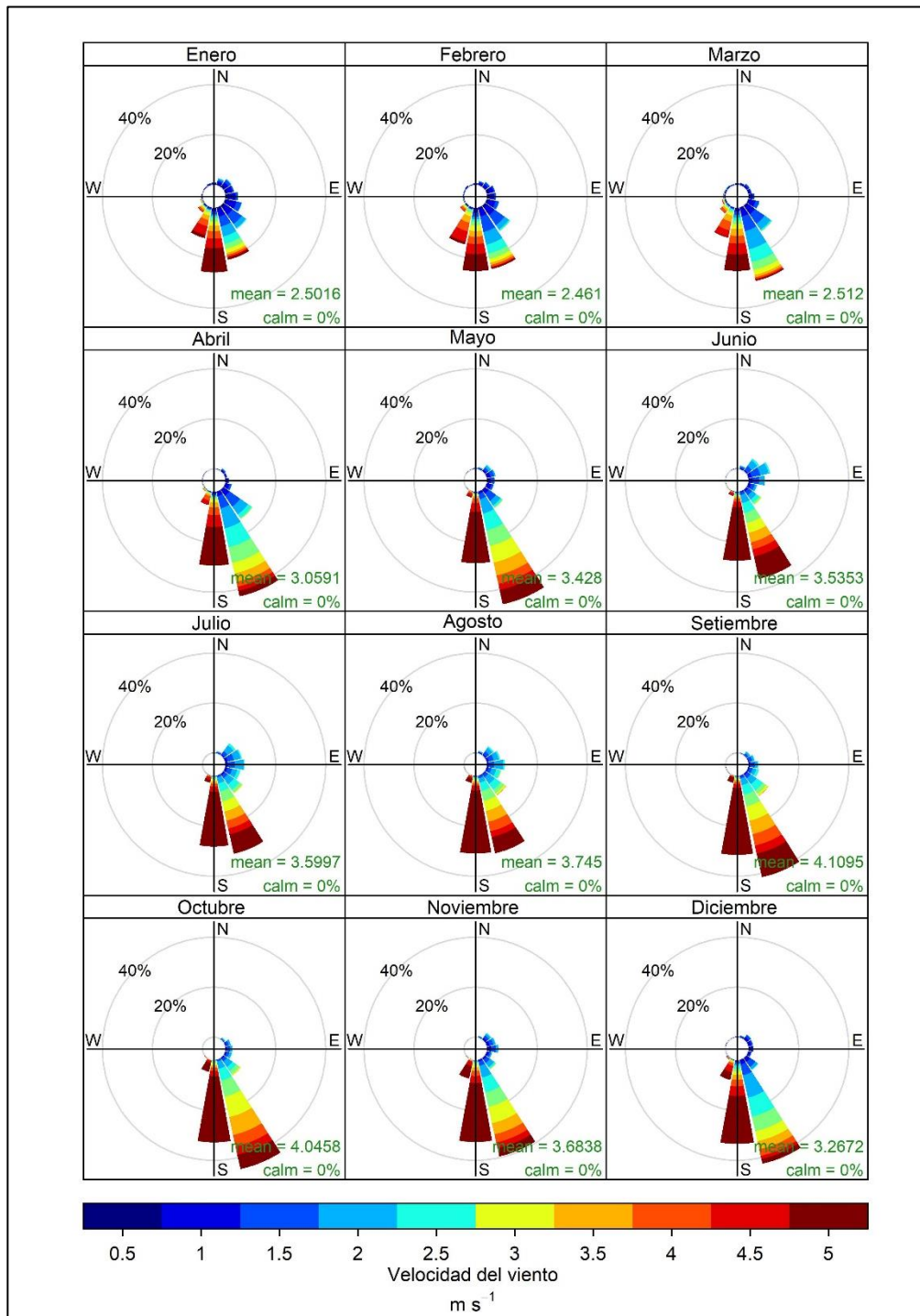
**Figura 5.12.** Rosa de vientos del durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo



**Figura 5.13.** Rosa de vientos por estaciones durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo



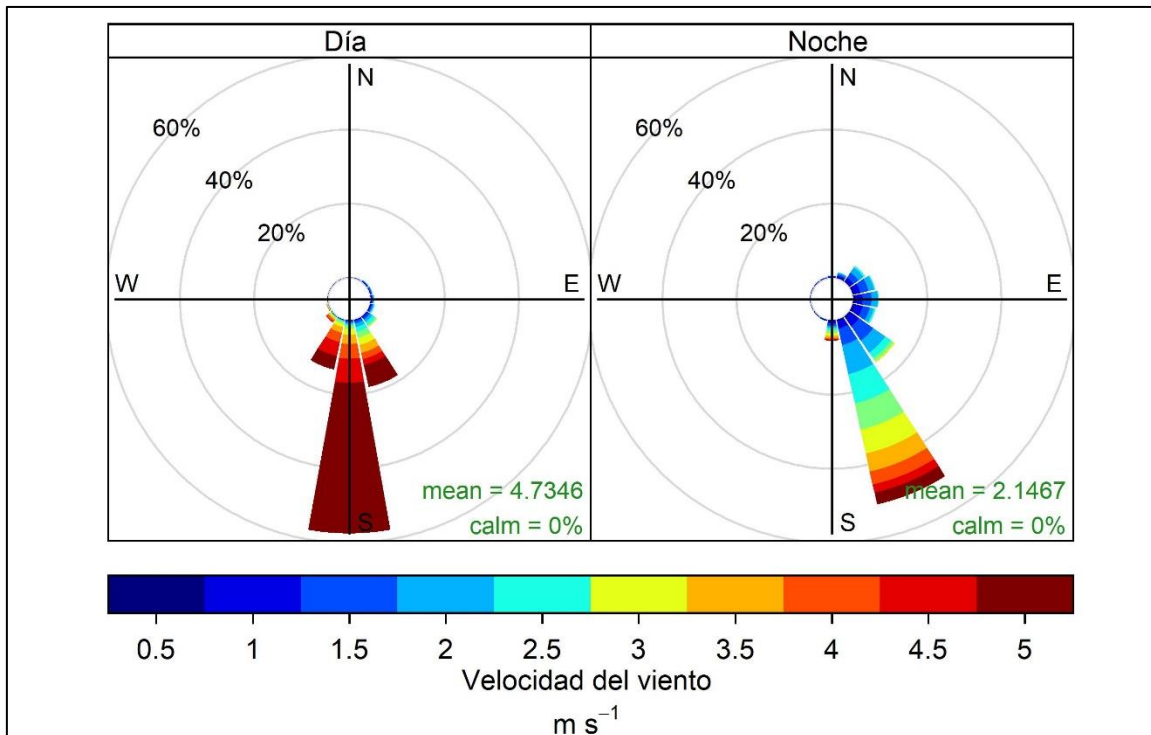
A nivel estacional, la dirección predominante del viento es del sur sureste (SSE), con una dirección significativa desde el sur (S). En términos mensuales, el viento también sopló mayormente desde el sur sureste (SSE) en la mayoría de los meses. Sin embargo, en enero, febrero y agosto, la dirección sur (S) cobró mayor relevancia, llegando a ser la predominante en enero. Además, las velocidades más altas se registraron en septiembre y octubre, con septiembre alcanzando el mayor promedio de velocidad, de 4.1 m/s. (Figura 5.14).



**Figura 5.14.** Rosa de vientos mensual durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

En promedio, durante el día se observa que la velocidad del viento es mayor entre las 6:00 horas y 19:00 horas (horario diurno - 4.7 m/s) y la velocidad del viento es menor entre las 19:00 horas y 6:00 horas del día siguiente (horario nocturno - 2.1 m/s). Asimismo, durante

el día se observa que la dirección del viento predominante es del sur (S) y durante la noche del sur sureste (SSE) (Figura 5.15).



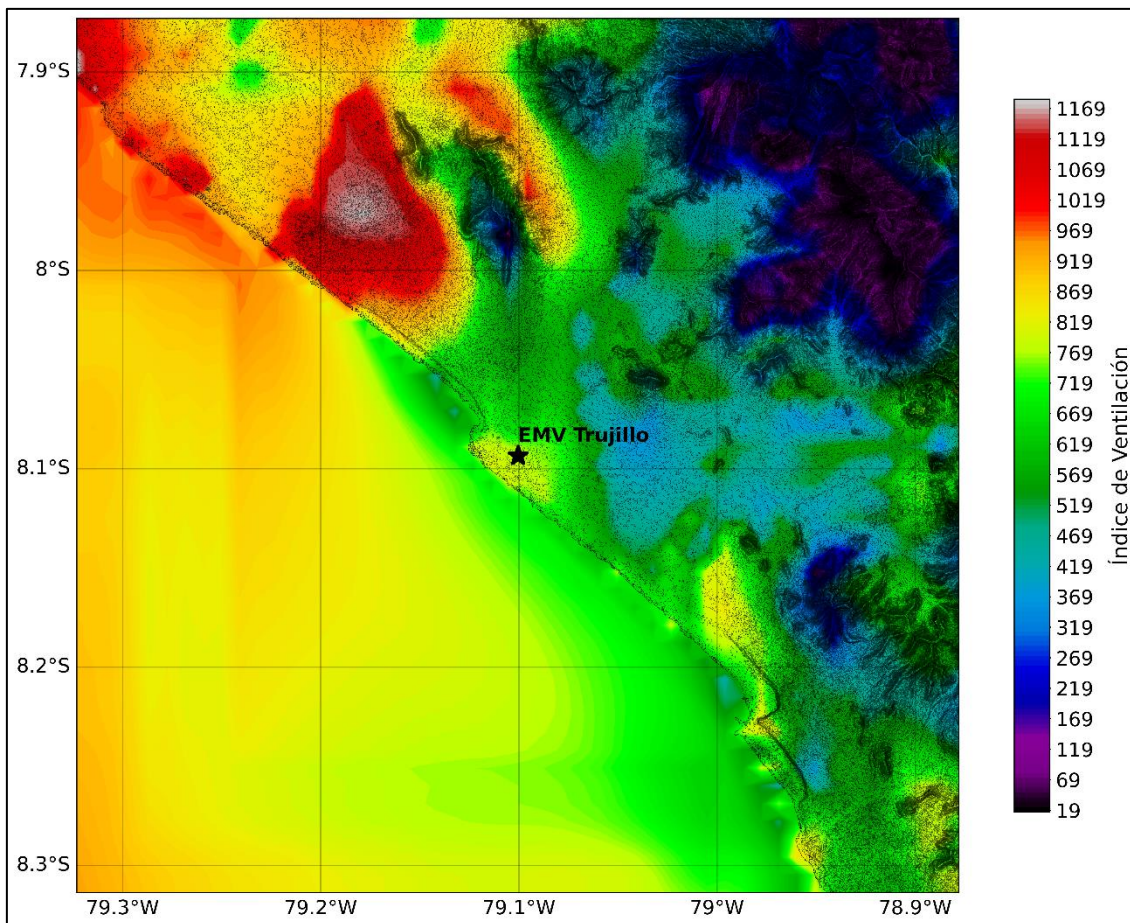
**Figura 5.15.** Rosa de vientos mensual durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo

### 5.2.5. Índice de ventilación

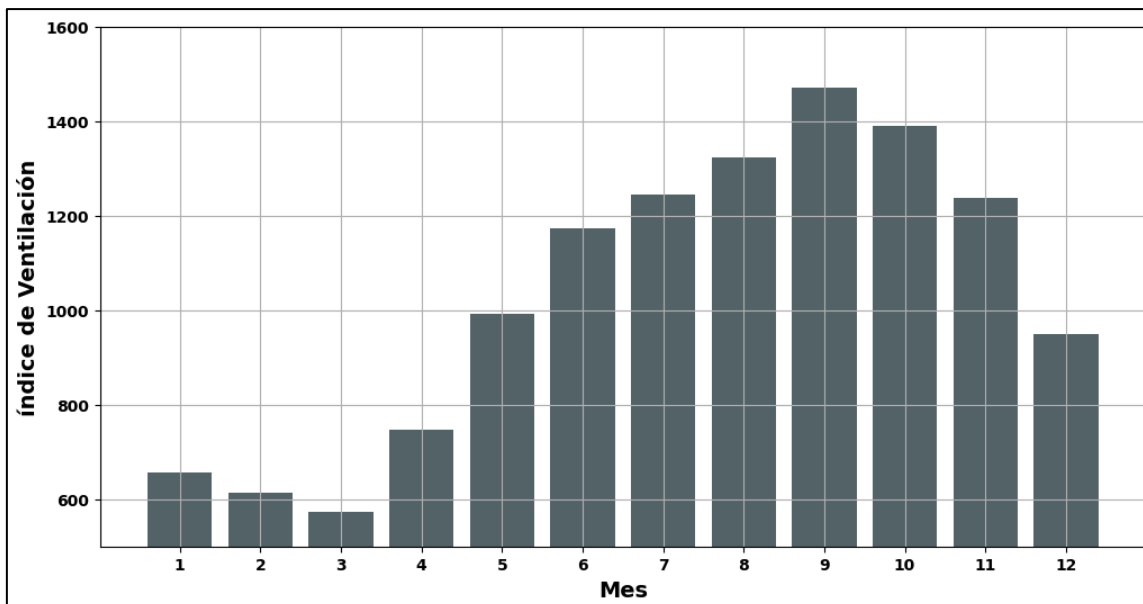
El índice de ventilación atmosférica (IV) es el producto de la velocidad media del viento en la capa de mezcla (CM) y la altura de la CM. El IV nos permite determinar si la atmósfera tiene la capacidad para dispersar eficazmente los contaminantes. Valores altos del IV nos señala condiciones atmosféricas buenas para la ventilación de los contaminantes dentro de la capa mezcla y valores bajos del IV señalan condiciones malas. Por lo que, relacionando los valores del IV con el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, en zonas donde los valores del IV fueron bajos, se registró mayor concentración de contaminantes, que en zonas con mayores valores de estos. Sin embargo, es importante señalar que el IV está relacionado solamente a las condiciones atmosféricas de un lugar, por lo que, para que suceda eventos de contaminación en zonas donde el IV es bajo, es necesario que exista la presencia de contaminantes atmosféricos, ya sea generados por alguna fuente cercana o que estos sean transportados por el viento.

El comportamiento espacial del IV (promedio del 2018-2023) en el dominio de modelamiento varió entre 19 m<sup>2</sup>/s y 1169 m<sup>2</sup>/s. (Figura 5.16).

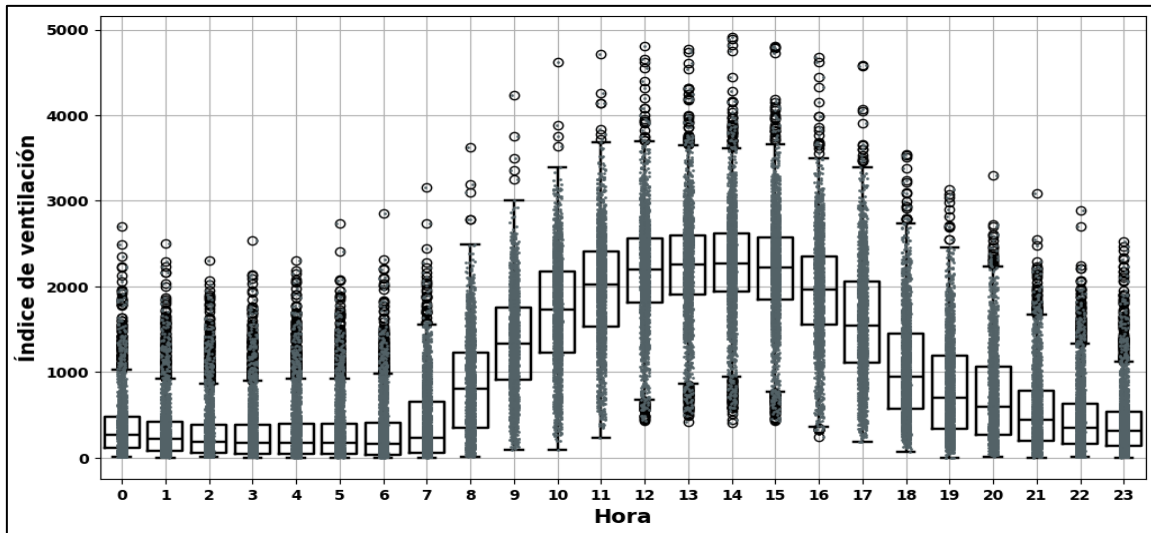
En el entorno de la EMV Trujillo, a nivel mensual, entre los meses de enero a marzo el índice de ventilación presenta sus valores más bajos y entre los meses de agosto a octubre presenta sus valores más altos. (Figura 5.17). En cuanto al comportamiento horario del IV se observó que los valores más altos se registran durante las 8:00 horas y 20:00 horas y los valores más bajos del IV se registraron entre las 21:00 horas y 7:00 horas del día siguiente (Figura 5.18)



**Figura 5.16.** Comportamiento espacial del índice de ventilación (IV) durante el periodo 2018-2023 en el área de modelamiento



**Figura 5.17.** Variación mensual del índice de ventilación (IV) durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo



**Figura 5.18.** Variación horaria del índice de ventilación durante el periodo 2018-2023 en el entorno de la EMV Trujillo



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, Donald C. (2009). An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. Cengage Learning, USA: Belmont.
- Castorina, G.; Caccamo, M.T.; Insinga, V.; Magazú, S.; Munaó, G.; Ortega, C.; Semprebello, A.; Rizza, U. Impact of the Different Grid Resolutions of the WRF Model for the Forecasting of the Flood Event of 15 July 2020 in Palermo (Italy). Atmosphere 2022, 13, 1717. <https://doi.org/10.3390/atmos13101717>.
- Castro M., R. González y A. Portela, 1991: Parametrización de la capa límite atmosférica en los modelos numéricos de pronóstico meteorológico. Física de la Tierra, num 3. Ed. Universidad Complutense Madrid, 103-138pp. Física cielo Tierra, núm. 3. 103-138. Ed. Univ. Compí. Madrid. 1991.
- IDEAM (2019). Glosario Meteorológico. Disponible online: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>.
- NCAR (2022). Weather Research & Forecasting Model (WRF). Disponible online: <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>.
- Powers, J.G. The Weather Research and Forecasting Model Overview, System Efforts, and Future Directions. Bull. Am. Meteorol. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00308.1>.
- Soc. 2017, 98, 1717–1737. Radaideh JA (2017) Effect of Meteorological Variables on Air Pollutants Variation in Arid Climates. J Environ Anal Toxicol 7: 478. doi:10.4172/2161-0525.1000478.
- SENAMHI. (2016). Sensibilidad de las parametrizaciones del modelo WRF sobre la Costa Central. Disponible online:
- <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/1915>
- SENAMHI. (2020). Climas de Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional, Resumen Ejecutivo. Disponible online:
- <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/761>
- SENAMHI. (2021). Clima del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional. Disponible online: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Villalba-Pradas, A. and Tapiador, F. J.: Empirical values and assumptions in the convection schemes of numerical models, Geosci. Model Dev., 15, 3447–3518, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-3447-2022>.
- WRF (2021). WRF Users Page: Modeling System Overview. Disponible Online: [https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model\\_overview.html](https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model_overview.html).