



**Análisis Meteorológico en el Valle de San Nicolás, Jurisdicción de La Corporación  
Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE.**

Alejandro Betancur Peláez

Informe de prácticas académicas para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

David Aguiar Gil, Profesor Escuela Ambiental – Facultad de Ingeniería, Universidad de  
Antioquia

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Ambiental  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Betancur Peláez, 2022)
<b>Referencia</b>	Betancur Peláez, A. (2022). <i>Análisis meteorológico en el Valle de San Nicolás, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare - CORNARE</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Agradecimientos**

Agradezco al Grupo de Recurso Aire de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Rios Negro y Nare – CORNARE, por la oportunidad y el conocimiento. A mi familia y amigos por su apoyo incondicional y constante motivación. Agradezco profundamente al profesor David Aguiar Gil por haberle dado un norte a mi carrera y por ser parte fundamental en mi proceso de aprendizaje.

## Tabla de contenido

Resumen .....	9
Abstract .....	10
Introducción .....	11
1 Objetivos .....	13
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marco teórico .....	14
3 Metodología .....	16
3.1 Área de estudio.....	16
3.2 Estaciones de interés para el análisis de variables meteorológicas.....	17
3.2.1 Estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM):.....	17
3.2.2 Estaciones de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare CORNARE (SVCA). .....	21
3.2.3 Estaciones del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA).....	23
3.3 Variables meteorológicas de interés. ....	24
3.4 Evaluación de los datos de la red meteorológica.....	25
3.5 Control de calidad de los datos .....	30
3.6 Procesamiento de datos.....	31
4 Resultados y análisis .....	31
4.1 Velocidad del viento y dirección predominante.....	31
4.2 Precipitación.....	37
4.3 Temperatura vs Velocidad del viento.....	43
4.4 Temperatura vs Presión atmosférica .....	46

4.5 Temperatura vs humedad relativa .....	50
4.6 Rosas de viento anuales, diurnas y nocturnas para cada una de las estaciones.....	57
4.6.1 Estación Retiro – IDEAM.....	57
4.6.2 Estación Aeropuerto José María Córdova, Rionegro – IDEAM .....	58
4.6.3 Estación La Selva, Rionegro – IDEAM.....	59
4.6.4 Estación Santuario, El Santuario – IDEAM .....	60
4.6.5 Estación Rionegro (Valles de San Nicolás-Sede), Rionegro – SIATA .....	61
4.6.6 Estación Universidad Católica de Oriente (UCO) – CORNARE.....	62
4.6.7 Estación San Antonio de Pereira – CORNARE .....	62
5 Conclusiones .....	73
6 Referencias .....	76
7 Anexos.....	79
7.1 Glosario de términos .....	79

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Información general, estaciones IDEAM.....	18
<b>Tabla 2.</b> Información general, estaciones CORNARE.....	21
<b>Tabla 3.</b> Disponibilidad de información mensual de velocidad y dirección del viento. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Resumen de información anual sobre velocidad y dirección del viento. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Disponibilidad de información mensual de precipitación.....	27
<b>Tabla 6.</b> Resumen de información anual sobre precipitación. ....	28
<b>Tabla 7.</b> Disponibilidad de información mensual de humedad Relativa.....	28
<b>Tabla 8.</b> Resumen de información anual sobre Humedad Relativa. ....	29
<b>Tabla 9.</b> Disponibilidad de información mensual de Temperatura. ....	29
<b>Tabla 10.</b> Resumen de información anual sobre Temperatura. ....	30
<b>Tabla 11.</b> Precipitación Acumulada del año en estaciones IDEAM y SIATA 2020.....	42
<b>Tabla 12.</b> Temperatura promedio multianual. ....	53

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación espacial, Valle de San Nicolás Datos.....	16
<b>Figura 2.</b> Descripción gráfica de <b>a.)</b> estación agrometeorológica, <b>b.)</b> estación climatológica principal, <b>c.)</b> estación sinóptica principal en plataforma DHIME, IDEAM..	19
<b>Figura 3.</b> Ubicación espacial de las estaciones del IDEAM en el Valle de San Nicolás. ....	20
<b>Figura 4.</b> Ubicación espacial de las estaciones de CORNARE en el Valle de San Nicolás. ....	22
<b>Figura 5.</b> Ubicación espacial de las estaciones del SIATA en el Valle de San Nicolás. ....	23
<b>Figura 6.</b> Velocidad del viento y dirección predominante de las 24 horas para las estaciones <b>a.)</b> Retiro, <b>b.)</b> J. M. Córdova, <b>c.)</b> La Selva, <b>d.)</b> Santuario, <b>e.)</b> Rionegro, <b>f.)</b> San Antonio, <b>g.)</b> Sede, <b>h.)</b> Hospital, <b>i.)</b> UCO. ....	34
<b>Figura 7.</b> Distribución de la precipitación de las 24 horas en las estaciones <b>a.)</b> Retiro, <b>b.)</b> Hospital, <b>c.)</b> J.M. Córdova, <b>d.)</b> La Selva, <b>e.)</b> Rionegro, <b>f.)</b> San Antonio, <b>g.)</b> Sede, <b>h.)</b> UCO, <b>i.)</b> Santuario.....	40
<b>Figura 8.</b> Mapa de precipitación acumulada del año 2020.....	43
<b>Figura 9.</b> Gráfica de Temperatura vs Velocidad del Viento estaciones <b>a.)</b> Hospital, <b>b.)</b> Rionegro, <b>c.)</b> San Antonio, <b>d.)</b> Sede, <b>e.)</b> UCO.....	45
<b>Figura 10.</b> Gráfica de Temperatura vs Presión Atmosférica en las estaciones <b>a.)</b> Hospital, <b>b.)</b> Rionegro, <b>c.)</b> San Antonio, <b>d.)</b> Sede, <b>e.)</b> UCO.....	48
<b>Figura 11.</b> Gráfica de Temperatura vs Humedad Relativa para las estaciones <b>a.)</b> UCO, <b>b.)</b> Rionegro, <b>c.)</b> Sede, <b>d.)</b> San Antonio, <b>e.)</b> Hospital.....	51
<b>Figura 12.</b> Mapa de temperatura media anual (Isotermas).....	54
<b>Figura 13.</b> Mapa Temperatura media anual CORNARE&Unalmed. ....	55
<b>Figura 14.</b> Mapa de Temperatura media anual vs altura. ....	55
<b>Figura 15.</b> Rosas de viento Totales para las distintas estaciones. ....	63
<b>Figura 16.</b> Rosas de viento Diurnas para las distintas estaciones. ....	64
<b>Figura 17.</b> Rosas de viento Nocturnas para las diferentes estaciones. ....	64
<b>Figura 18.</b> Rosas de viento y distribución de frecuencia de vientos de las estaciones de interés. ....	65

## **Siglas, Acrónimos y Abreviaturas**

<b>CORNARE</b> .....	Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare
<b>SVCA</b> .....	Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire
<b>SIATA</b> .....	Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá
<b>IDEAM</b> .....	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>°C</b> .....	Grados Celsius
<b>m/s</b> .....	Metros por segundo
<b>hPa</b> .....	Hectopascales
<b>WRPlot</b> .....	Programa operacional para la creación de rosas de viento
<b>IDW</b> .....	Inverse Weigh Distance (método de interpolación)

## Resumen

El objetivo del presente análisis de datos meteorológicos en el Valle de San Nicolás para el periodo 2020-2021, es suministrar a la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, información meteorológica que permita comprender las dinámicas atmosféricas del Valle de San Nicolás, y así generar conocimiento para la planificación y correcta gestión de la calidad del aire. En general, se encontró que los vientos presentan mayores velocidades entre las 14:00 y 15:00 horas y las mínimas entre las 2:00 y 4:00 horas. La precipitación tiende a distribuirse mayormente durante el periodo nocturno, albergando más del 55% de las mismas durante este periodo. Además se puede evidenciar que, en el municipio de Rionegro, se registraron las mayores precipitaciones para el periodo 2020. En cuanto a la temperatura, esta tiende a aumentar en el periodo diurno, registrando las mayores temperaturas entre las 14:00 y 15:00 horas, y las mínimas temperaturas entre las 4:00 y 6:00 horas. Las temperaturas en el Valle de San Nicolás (promedio anual), oscilaron entre los 15,6 y 18,5 °C como se muestra en el mapa de temperatura (isotermas). También se encontró una tendencia de vientos para el periodo anual en las 9 estaciones con dirección Este (E), dirigiéndose hacia el Oeste (W). Esta misma tendencia también se presentó en general para el periodo diurno, y ya para el periodo nocturno, se presentaron mayores variaciones en cuanto a la dirección del mismo.

*Palabras clave:* Análisis meteorológico CORNARE, meteorología en el Valle de San Nicolás, estaciones meteorológicas CORNARE.

### **Abstract**

The objective of the present analysis of meteorological data in the Valle de San Nicolás for the period 2020-2021, is to deliver to the Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare - CORNARE, meteorological information of relevance that allows to understand the atmospheric dynamics of the Valle de San Nicolás, and thus generate knowledge for the planning and correct management of air quality. In general, the winds were found to have higher speeds during the daytime period, registering the highest speeds between 14:00 and 15:00 hours, and minimum speeds during the night period between 2:00 and 4:00 hours. Precipitation tends to be distributed mostly during the night period, concentrating more than 55% of them during this period. Also it can be evidenced that, in the municipality of Rionegro, the highest rainfall was registered for the period 2020. The temperature, tends to increase in the daytime period, recording the highest temperatures between 14:00 and 15:00 hours, and the minimum temperatures between 4:00 and 6:00 hours. Temperatures in the Valley of San Nicolás (annual average), ranged between 15.6 and 18.5 °C as shown in the temperature map (isotherms). A trend of winds was also found for the annual period in the 9 stations heading East (E), heading West (W). This same trend also occurred in general for the daytime period, and already for the night period, there were greater variations in the direction of the same.

*Keywords:* Meteorological Analyst CORNARE, meteorology in the Valle de San Nicolás, Meteorological stations from CORNARE.

## Introducción

El concepto de meteorología se asocia a las condiciones de la atmósfera en un tiempo y lugar específico, con relación a la temperatura, precipitación, humedad relativa, presión atmosférica y otros factores como pueden ser las nubes (Nationalgeographic, 2011). La meteorología, juega además un rol importante en los fenómenos de dispersión de la contaminación atmosférica, ya que se tiene evidencia de que las concentraciones de PM2.5 se reducen cuando hay eventos de precipitación, además de que variables como el viento, temperatura, radiación, entre otras, pueden inducir al incremento o disminución de la concentración de contaminantes en superficie o en otros lugares. También se ha encontrado que, existen retroalimentaciones positivas entre la concentración del contaminante, la temperatura y la humedad específica, sin embargo, se presentan retroalimentaciones negativas con la radiación solar y la velocidad del viento (Duque, 2018). Es por esto, que el estudio de la meteorología se ha hecho cada vez más importante, ya que la exposición prolongada a niveles altos de contaminación, pueden generar efectos adversos en la salud, por lo que entender las dinámicas de estos en la atmósfera es de interés general. La contaminación atmosférica en un lugar depende en buena medida de las emisiones provenientes de fuentes fijas, fuentes móviles y otras actividades humanas, y es por esto que en zonas donde hay presencia de industrias o en las grandes urbes, es importante monitorear la calidad del aire y los contaminantes que puedan afectarla.

Una de cada seis muertes en el mundo está relacionada con la contaminación, cifra que triplica los fallecidos por sida, malaria y tuberculosis, o que multiplica por 15 los fallecidos en guerras, asesinatos y otros hechos violentos. El principal causante de estas muertes prematuras, es la contaminación atmosférica, la cual causa alrededor de 7 millones de fallecidos al año, y la mayor carga la sufren los países en vía de desarrollo en los cuales se concentra el 92% de estas muertes (ONU, 2021). En Colombia, el 74% de la población identifica a la contaminación del aire como uno de los problemas más serios en el país, además porque afecta directamente a la población de bajos recursos. Genera Aproximadamente 7.000 casos de muertes prematuras anuales, 7.000 casos de bronquitis crónica, 13.000 hospitalizaciones por causa de enfermedad respiratoria crónica y 255.000 visitas a salas de urgencias (Tyler).

Teniendo en cuenta lo anterior, se encuentra la necesidad de estudiar la meteorología en el Valle de San Nicolás, ya que según estudios realizados por el DANE para el período 2018–2023, el Oriente antioqueño tendrá 728.581 habitantes en 2023, lo que representa 56.996 personas más que en 2018 y la población aumentará cada año, en promedio, en 11.399 personas (Rincón, 2020). A esto se le suma el hecho de que en el Oriente Antioqueño se tienen identificadas 183 empresas generadoras de emisiones, con un total de 569 fuentes fijas registradas hasta ahora (informe de gestión del mes de septiembre, Grupo R.A, CORNARE), de las cuales 181 (31,8%) se encuentran presentes en el Valle de San Nicolás, por lo que a fin de garantizar la salud y el bienestar de sus habitantes, se hace necesario este tipo de análisis, para así dar a conocer la relación entre la contaminación y la meteorología, y de esta manera, prevenir y mitigar presente y futuras afectaciones.

Para estos estudios, la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare - CORNARE, autoridad ambiental de oriente antioqueño, y que tiene en su jurisdicción 26 municipios, entre los que se encuentran los 9 municipios pertenecientes al Valle de San Nicolás, cuenta con algunas estaciones meteorológicas pertenecientes al Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), las cuales brindan información climática detallada, y que se encuentran posicionadas estratégicamente en centros urbanos, en donde toman información de variables como temperatura, humedad relativa, dirección del viento, velocidad del viento, entre otras. En el Valle de San Nicolás, también se encuentran otras estaciones meteorológicas que no pertenecen al SVCA de CORNARE, pero que aportan información importante, como las pertenecientes al Instituto de Hidrología, meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual cuenta con un gran número de estaciones de diferente clase alrededor de todo el territorio colombiano, y que se pueden utilizar en efecto para esta clase de estudios.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Procesar y analizar los datos meteorológicos comprendidos en el periodo 2020-2021, de las estaciones del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de CORNARE, la red meteorológica del IDEAM y del Sistema de Alertas Tempranas del Valle Aburrá (SIATA), ubicadas en el Valle de San Nicolás, jurisdicción de CORNARE.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Presentar el promedio horario de las variables meteorológicas de mayor relevancia para los periodos con disponibilidad de datos de 2020-2021 junto a su respectivo análisis.
- Modelar la componente dirección y velocidad del viento mediante rosas de viento para analizar y comparar el comportamiento del mismo en el Valle de San Nicolás.
- Realizar mapas de interpolación de temperaturas y precipitación con método IDW (Inverse Distance Weighting) en el Valle de San Nicolás según la disponibilidad de datos para el periodo de análisis 2020-2021.

## 2 Marco teórico

La meteorología, es la rama de la física que aborda los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Estos fenómenos ocurren en todas las escalas espaciales y temporales y sus impactos son relevantes para muchas actividades (Atmosfera.cl). En Colombia, estudiar la meteorología es importante debido a la diversidad de pisos térmicos del país, su topografía, ubicación geográfica y la influencia que tienen estos factores en las dinámicas medioambientales en las diferentes regiones. La meteorología tiene aplicaciones en la agricultura (meteorología agrícola), las actividades en alta mar (meteorología marina), la aeronáutica (meteorología aeronáutica) y en el uso de modelos numéricos en general para la predicción del clima (IDEAM, Aplicaciones meteorológicas). Para que lo anterior sea posible, se debe tener un flujo de información climática constante, que, para el caso de Colombia, se obtiene de las cerca de 8973 estaciones que se encuentran distribuidas por todo el país (IDEAM, Catálogo Nacional de Estaciones) y de aquellas pertenecientes a entidades públicas y privadas. La meteorología es además una herramienta para el control y la prevención de la contaminación atmosférica, ya que la concentración de estos en un punto o la dispersión de los mismos puede verse influenciada enormemente por la meteorología y topografía de un lugar en específico

La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente. Los principales medios por los cuales se produce la contaminación atmosférica se concentran en los procesos industriales en donde se realiza combustión, así como por fuentes móviles tales como los automóviles (IDEAM, Contaminación Atmosférica).

En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. (IDEAM, Contaminación atmosférica-Calidad del aire). A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades (DNP). Por lo anterior, el estudio de la meteorología en las distintas regiones ha tomado fuerza, ya que factores como el viento, la temperatura, la precipitación, entre otros, pueden inducir a las concentraciones de contaminantes

en centros urbanos o generar otro tipo de efectos en cuanto a la distribución y dispersión de los mismos.

Es así, que el estudio y el entendimiento de la meteorología es de importancia para regiones como el Valle de San Nicolás, para la planificación y correcta gestión de la calidad del aire por parte de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Rios Negro y Nare-CORNARE, autoridad ambiental del Oriente Antioqueño, ya que a pesar de que su topografía favorece la dispersión de los contaminantes, no son ajenos a estos problemas como se ha evidenciado en algunas ocasiones.

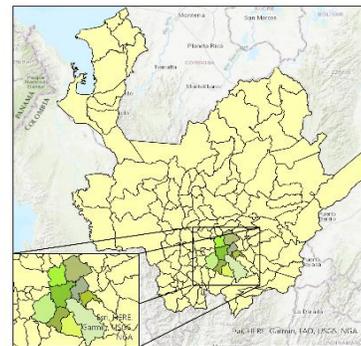
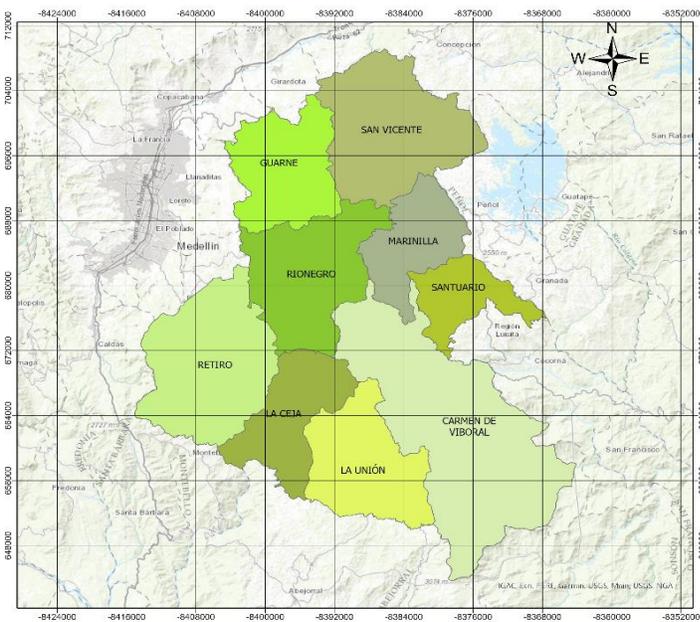
### 3 Metodología

#### 3.1 Área de estudio

La región Valle de San Nicolás o Altiplano está conformado por los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, Rio Negro, La Ceja, La Unión, Marinilla y San Vicente (Oriéntese.co). Está ubicado en la parte suroriental del departamento de Antioquia, limitando al Noroccidente con el Área Metropolitana de Medellín, al Noreste con la zona Porce Nus, al occidente y al sur con la Zona Páramo y al Oriente con la Zona Aguas y la zona Bosques. Ocupa 174466,67 hectáreas, correspondiendo aproximadamente al 21,3% del territorio del Oriente Antioqueño, con altitudes que varían entre los 1900 y los 2600 m.s.n.m. El censo realizado por el DANE en el año 2018 expone que en el Valle de San Nicolás viven 417.296 personas de las 582.424 del oriente antioqueño, concentrando cerca del 71% de la población que habita en la región (Bedoya, 2020). Los veranos son cómodos, los inviernos son cortos y frescos, y está mojado y nublado todo el año. Las temperaturas en el Valle de San Nicolás pueden oscilar entre los 9 y 24 °C (Spark).

#### *Figura 1*

*Ubicación espacial, Valle de San Nicolás.*



### 3.2 Estaciones de interés para el análisis de variables meteorológicas.

Para el análisis meteorológico en el Valle de San Nicolás, Jurisdicción de La Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, se identificaron cuatro (4) estaciones pertenecientes al IDEAM, cuatro (4) estaciones pertenecientes a CORNARE (SVCA), y una (1) estación perteneciente al Sistema de Alertas Tempranas de Valle de Aburrá (SIATA). A continuación, se presenta la información general de las estaciones de interés:

#### 3.2.1 Estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM):

Se identificaron cuatro (4) estaciones del tipo “meteorológica” en el Valle de San Nicolás como se muestra en la Tabla 1. La selección de las estaciones se dio con base a las variables meteorológicas que éstas medían y el tipo de tecnología de la misma, según las definiciones y características encontradas en el “Catálogo Nacional de Estaciones IDEAM”. Para el presente estudio, se utilizaron estaciones climatológicas principales, estaciones agrometeorológicas y sinópticas

principales como se muestra en la Figura 2. A continuación, se describen en detalle las funciones y variables que mide cada estación según su tipo:

- ***Estación Climatológica Principal:*** Es aquella en la cual se hacen observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación, temperaturas extremas del tanque de evaporación, cantidad de nubes y fenómenos especiales. Gran parte de estos parámetros se obtienen de instrumentos registradores (IDEAM, Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones)
- ***Estación Agrometeorológica:*** En esta estación se realizan observaciones meteorológicas y otras observaciones que ayudan a determinar las relaciones entre el clima, por una parte y la vida de las plantas y los animales por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación climatológica principal, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo) (IDEAM, Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones).
- ***Estación Sinóptica Principal:*** En este tipo de estación se efectúan observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitación, temperaturas extremas, capas significativas de nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos (IDEAM, Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones).

### ***Tabla 1***

*Información general, estaciones IDEAM*

<i>Nombre de la estación</i>	<i>Código</i>	<i>Categoría</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Municipio</i>	<i>Estado de la estación</i>	<i>Tecnología</i>
Santuario	2308500068	Climática principal	-75,28	6,13	2.162	Santuario	Activa	Automática con telemetría
Retiro	2308500071	Climática principal	-75,51	6,06	2.233	Retiro	Activa	Automática con telemetría
La Selva	23085260	Agrometeorológica	-75,41	613	2.125	Rionegro	Activa	Automática con telemetría
Aeropuerto J. M Córdova	23085270	Sinóptica principal	-75,43	6,17	2.157	Rionegro	Activa	Automática con telemetría

### **Figura 2**

*Descripción gráfica de a.) estación agrometeorológica, b.) estación climatológica principal, c.) estación sinóptica principal en plataforma DHIME, IDEAM..*



La información meteorológica para el periodo de estudio de estas estaciones, se consultó en la página “Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos - DHIME” del IDEAM. (IDEAM, Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos). La información de velocidad del viento, dirección del viento, Humedad relativa y precipitación se entrega como un promedio horario en formato xlsx. Es de resaltar que, los datos de temperaturas no se encuentran como datos horarios, sino como promedios anuales, temperatura gráfica u otro tipo de datos que, dadas sus características, no pueden ser utilizados en un análisis horario, pero que, sin embargo, pueden ser utilizados para realizar un mapa de isotermas mediante métodos de interpolación IDW.

### **3.2.1.2 Ubicación espacial de las estaciones de interés pertenecientes al IDEAM.**

La estación “Santuario” se encuentra ubicada en las instalaciones de la Sede principal de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, en el municipio de El Santuario, Antioquia.

La estación “Retiro”, se encuentra ubicada en zona veredal del municipio de El Retiro, Antioquia según la ubicación espacial mostrada en la página de descarga de datos hidrometeorológicos – DHIME del IDEAM.

La estación “La Selva” se encuentra en cercanías del aeropuerto José María Córdova de Rionegro, Antioquia, según la ubicación espacial mostrada en la página de descarga de datos hidrometeorológicos – DHIME del IDEAM.

La estación “Aeropuerto” se encuentra ubicada en el aeropuerto José María Córdova del municipio de Rionegro Antioquia, cerca de la zona de embarque sur del aeropuerto.

En la Figura 3 se muestra la ubicación espacial de todas las estaciones de interés en el Valle de San Nicolás, pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

#### ***Figura 3***

*Ubicación espacial de las estaciones del IDEAM en el Valle de San Nicolás.*



### 3.2.2 Estaciones de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare CORNARE (SVCA).

Se identificaron cuatro (4) estaciones meteorológicas (ver Tabla 2) ubicadas en el Valle de San Nicolás pertenecientes al Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de CORNARE (SVCA). Estas estaciones miden variables como velocidad del viento, dirección del viento (cardinal), precipitación, temperatura, radiación, presión atmosférica entre otras variables. Es de resaltar que, al momento del presente estudio, las estaciones contaban con poca información debido a que las consolas son de marca Vintage y la información debe ser recolectada de forma manual mediante el software WeatherLink y a razón de la actual pandemia por COVID 19 no fue posible la recolección de datos oportunamente durante el año 2020. Actualmente algunas de ellas se han desmantelado por motivos de calibración de las consolas o actualización de las estaciones de monitoreo.

**Tabla 2**

*Información general, estaciones CORNARE.*

Nombre de la estación	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m)	Municipio	Estado de la estación
-----------------------	----------	---------	-------------------	-----------	-----------------------

Hospital	75°26'43,17''W	6°16'53,08''N	2158	Guarne	Inactiva
Sede	75°16'27,81''W	6°08'1,85''N	2138	Santuario	Activa
UCO	75°21'57''W	6°08'58''N	2171	Rionegro	Activa
San Antonio	75°22'52''W	6°07'46''N	2120	Rionegro	Activa

### 3.2.2.1 Ubicación espacial de la estación perteneciente al Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de CORNARE

La estación “Sede” se encuentra ubicada en las instalaciones de la Sede principal de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, en el municipio de El Santuario, Antioquia.

La estación “UCO” se encuentra ubicada en la Universidad Católica de Oriente (UCO) en el municipio de Rionegro, Antioquia.

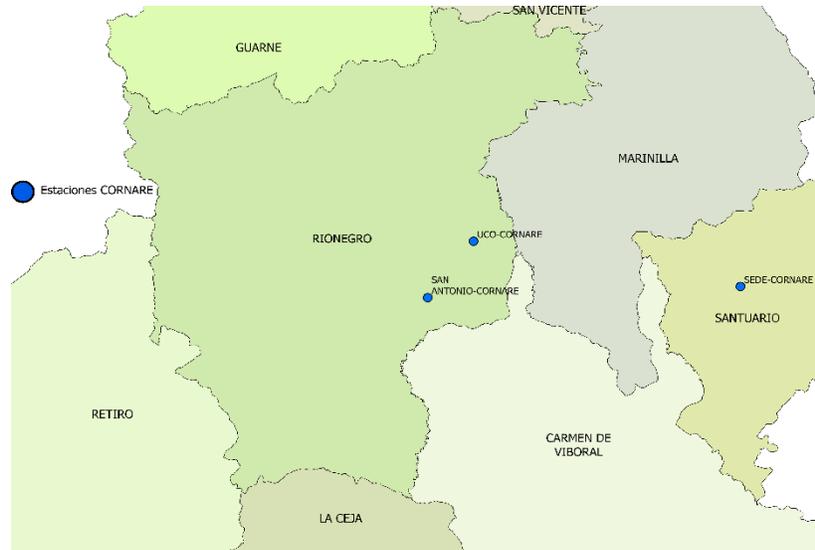
La estación “Hospital” se encontraba ubicada en el hospital del municipio de Guarne, Antioquia. Actualmente esta ha sido desmantelada y reemplazada por un equipo de monitoreo continuo de la Universidad de Antioquia.

La estación “San Antonio” se encuentra ubicada en el Mall “La Placita” del municipio de San Antonio de Pereira, Rionegro, Antioquia.

En la Figura 4 se muestra la ubicación espacial de todas las estaciones de interés en el Valle de San Nicolás, pertenecientes al Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de CORNARE.

#### **Figura 4**

*Ubicación espacial de las estaciones de CORNARE en el Valle de San Nicolás.*

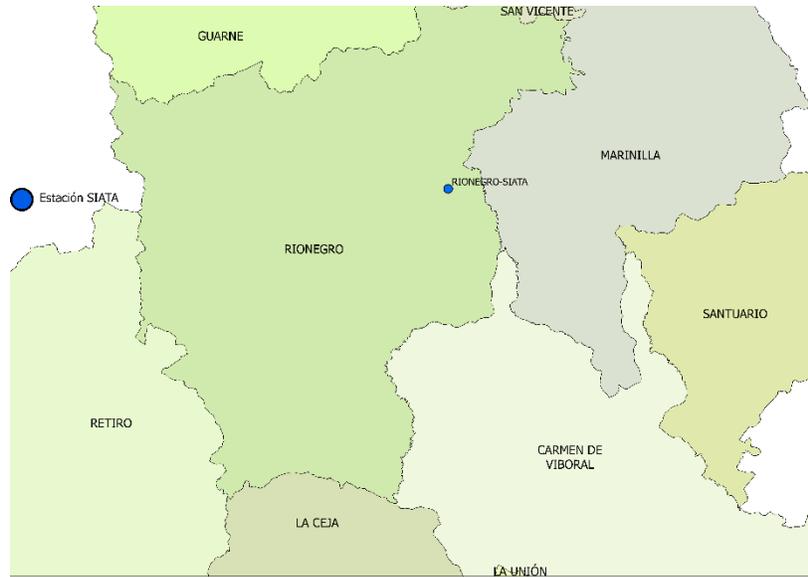


### 3.2.3 Estaciones del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA)

Se identificó una (1) estación perteneciente al Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA), la cual brinda información meteorológica detallada (minuto a minuto) de variables meteorológicas como temperatura, radiación solar, dirección del viento, velocidad del viento, precipitación, entre otras variables. La información fue solicitada vía e-mail y esta fue remitida en formato xlsx, ya que la misma dejó de operar en el mes de octubre del 2021 por lo que la información no se encontraba disponible en plataforma. Según información oficial del SIATA, esta pertenece ahora a CORNARE. Esta estación se encuentra ubicada en el Municipio de Rionegro en la seccional Valles de San Nicolás de CORNARE (ver Figura 5).

#### **Figura 5**

*Ubicación espacial de las estaciones del SIATA en el Valle de San Nicolás.*



### 3.3 Variables meteorológicas de interés.

Para el presente estudio, se seleccionaron las siguientes variables de interés: Temperatura, dirección del viento, velocidad del viento, precipitación, humedad relativa y presión atmosférica. Estas variables se escogieron teniendo en cuenta que, para cada entidad, las estaciones meteorológicas difieren en modelos y tipo de tecnología, por lo que no siempre arrojan el mismo tipo de variable, pero entrega esencialmente las anteriormente mencionadas. A continuación, se realiza el recuento de variables con sus respectivas unidades según la entidad dueña de la misma

#### 3.3.1 Estaciones IDEAM.

En cuanto a las estaciones pertenecientes al IDEAM, se encontró que las variables de velocidad y dirección de viento se presentaban en un promedio horario en unidades de metro por segundo (m/s) y grados (°) respectivamente. La humedad relativa se presenta en un promedio horario en porcentaje (%), la precipitación se entrega en su promedio horario en unidades de milímetros (mm), y finalmente, la temperatura fue la variable que presentó mayor dificultad para su procesamiento, ya que esta no se encuentra en su promedio horario, por lo que se tuvo que optar por descargar la “Temperatura media anual” para la realización del mapa de Isotermas, el cual

requiere del promedio de temperatura multianual de la estación. También se resalta que, para estas estaciones, la presión atmosférica no se encontraba disponible.

### **3.3.2 Estaciones SVCA, CORNARE.**

Las estaciones pertenecientes al Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de CORNARE (SVCA), entregan información horaria de cada una de las variables de interés, además de otras más. Es de resaltar, que la variable de dirección del viento en estas estaciones se presentaba en formato cardinal, por lo que se debe realizar una transformación para convertirla en unidades de azimut (dirección en grados). La velocidad del viento viene dada en metro por segundo (m/s), la humedad relativa en porcentaje (%), la precipitación en milímetros (mm), la presión atmosférica en hectopascales (hPa) y la temperatura en grados Celsius (°C).

### **3.3.3 Estación SIATA, Rionegro.**

La información suministrada por la estación del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA) viene dado minuto a minuto. La velocidad del viento viene dada en metro por segundo (m/s), la humedad relativa en porcentaje (%), la precipitación en milímetros (mm), la presión atmosférica en hectopascales (hPa) y la temperatura en grados Celsius (°C). Esta estación posee la mayor cantidad de datos como se mostrará eventualmente en el presente análisis.

## **3.4 Evaluación de los datos de la red meteorológica**

En cuanto a la evaluación de la red meteorológica, se tuvo en cuenta la cantidad de datos que contenía cada estación, esto es, que los datos por mes o por año para cada una de las variables fueran representativos, para así poder generar datos confiables. Para esto, se hizo una revisión minuciosa de los datos en el periodo de estudio (2020-2021), mes a mes de cada una de las

estaciones de interés que se encuentran presentes en el Valle de San Nicolás. A continuación, se muestra la información de cada una de las variables dada en % de cada una de las estaciones:

**Tabla 3**

*Disponibilidad de información mensual de velocidad y dirección del viento.*

	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio de Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
ene-20	31%	0%	100%	0%	100%	100%	98%	96%	100%
feb-20	78%	0%	100%	0%	100%	100%	99%	94%	100%
mar-20	29%	0%	33%	0%	100%	100%	99%	91%	100%
abr-20	0%	0%	0%	0%	100%	100%	99%	93%	100%
may-20	40%	0%	0%	0%	100%	100%	90%	84%	100%
jun-20	53%	0%	0%	0%	100%	100%	31%	93%	100%
jul-20	0%	0%	4%	0%	92%	100%	0%	94%	100%
ago-20	0%	0%	97%	0%	0%	100%	0%	94%	100%
sep-20	27%	0%	1%	0%	0%	100%	0%	90%	100%
oct-20	50%	0%	7%	90%	27%	100%	0%	82%	96%
nov-20	9%	0%	95%	96%	100%	100%	0%	94%	82%
dic-20	12%	0%	96%	100%	100%	100%	0%	84%	100%
ene-21	32%	0%	82%	100%	100%	100%	0%	66%	63%
feb-21	0%	8%	0%	100%	100%	100%	12%	90%	74%
mar-21	0%	58%	0%	45%	100%	79%	10%	16%	100%
abr-21	0%	56%	0%	0%	100%	0%	32%	8%	100%
may-21	0%	59%	0%	0%	100%	0%	44%	16%	75%
jun-21	32%	24%	0%	0%	100%	0%	3%	3%	100%
jul-21	53%	0%	63%	0%	100%	0%	22%	0%	100%
ago-21	32%	0%	89%	0%	100%	0%	7%	0%	100%
sep-21	26%	0%	91%	0%	98%	0%	97%	0%	100%
oct-21	0%	0%	0%	36%	97%	0%	95%	0%	44%
nov-21	0%	0%	0%	100%	97%	0%	96%	0%	0%
dic-21	0%	0%	0%	39%	0%	0%	0%	0%	0%

**Tabla 4***Resumen de información anual sobre velocidad y dirección del viento.*

Año	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
2020	27%	0%	38%	24%	76%	100%	43%	91%	98%
2021	15%	27%	26%	34%	91%	23%	35%	16%	73%

**Tabla 5***Disponibilidad de información mensual de precipitación.*

	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
ene-20	44%	0%	99,9%	0%	100%	95%	100%	100%	100%
feb-20	100%	0%	100,0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
mar-20	34%	0%	32,8%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
abr-20	0%	0%	0,0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
may-20	90%	0%	0,0%	0%	0%	99%	100%	100%	100%
jun-20	85%	0%	0,0%	0%	100%	99%	100%	100%	100%
jul-20	0%	0%	4,3%	0%	92%	98%	100%	100%	100%
ago-20	0%	0%	100,0%	85%	0%	97%	100%	100%	100%
sep-20	40%	0%	1,3%	100%	0%	88%	100%	100%	100%
oct-20	100%	0%	7,5%	90%	27%	85%	100%	100%	93%
nov-20	35%	0%	98,1%	96%	100%	78%	100%	100%	82%
dic-20	81%	0%	99,3%	100%	47%	47%	100%	100%	100%
ene-21	91%	0%	87,1%	100%	100%	53%	100%	100%	63%
feb-21	0%	14%	0,0%	100%	100%	59%	100%	100%	74%
mar-21	0%	100%	0,0%	45%	100%	77%	100%	100%	100%
abr-21	0%	100%	0,0%	0%	100%	0%	100%	100%	100%
may-21	0%	100%	0,0%	0%	100%	0%	100%	100%	74%
jun-21	69%	36%	0,0%	0%	100%	0%	100%	100%	100%
jul-21	100%	0%	63,3%	0%	100%	0%	100%	100%	100%
ago-21	100%	0%	98,8%	0%	100%	0%	100%	100%	99%
sep-21	78%	0%	99,6%	0%	98%	0%	100%	100%	100%
oct-21	0%	0%	85,6%	36%	97%	0%	100%	100%	43%
nov-21	0%	0%	0,0%	100%	97%	0%	100%	100%	0%
dic-21	0%	0	0,0%	39%	0%	0%	100%	100%	0%

**Tabla 6***Resumen de información anual sobre precipitación.*

Año	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
2020	51%	0%	45%	39%	63%	90%	100%	100%	98%
2021	37%	29%	37%	39%	91%	16%	100%	100%	73%

**Tabla 7***Disponibilidad de información mensual de humedad Relativa.*

	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
ene-20	44%	0%	100%	0%	99%	57%	96%	97%	100%
feb-20	100%	0%	100%	0%	99%	0%	95%	96%	100%
mar-20	34%	0%	33%	0%	100%	0%	98%	93%	100%
abr-20	0%	0%	0%	0%	99%	0%	95%	95%	100%
may-20	90%	0%	0%	0%	100%	0%	89%	86%	100%
jun-20	85%	0%	0%	0%	99%	0%	31%	96%	100%
jul-20	0%	0%	4%	0%	90%	0%	0%	96%	100%
ago-20	0%	0%	97%	85%	0%	0%	0%	96%	100%
sep-20	40%	0%	1%	100%	0%	0%	0%	92%	100%
oct-20	100%	0%	7%	90%	0%	0%	0%	85%	93%
nov-20	35%	0%	94%	96%	0%	0%	0%	96%	82%
dic-20	59%	0%	94%	100%	0%	0%	0%	86%	100%
ene-21	91%	0%	81%	100%	0%	0%	0%	68%	63%
feb-21	0%	14%	0%	100%	41%	0%	8%	91%	74%
mar-21	0%	100%	0%	45%	99%	0%	10%	17%	100%
abr-21	0%	100%	0%	0%	99%	0%	32%	8%	100%
may-21	0%	100%	0%	0%	100%	0%	42%	16%	74%
jun-21	68%	36%	0%	0%	100%	0%	3%	3%	100%
jul-21	100%	0%	63%	0%	99%	0%	22%	0%	100%
ago-21	100%	0%	88%	0%	99%	0%	77%	37%	99%
sep-21	8%	0%	90%	0%	99%	0%	94%	91%	100%
oct-21	0%	0%	88%	36%	99%	0%	97%	83%	43%
nov-21	0%	0%	0%	100%	99%	0%	96%	95%	0%
dic-21	0%	0%	0%	96%	0%	0%	0%	0%	0%

**Tabla 8***Resumen de información anual sobre Humedad Relativa.*

Año	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
2020	49%	0%	44%	18%	57%	5%	42%	93%	98%
2021	31%	29%	34%	41%	78%	0%	40%	42%	73%

**Tabla 9***Disponibilidad de información mensual de Temperatura.*

	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdoba	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
ene-20	44%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
feb-20	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
mar-20	34%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
abr-20	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
may-20	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
jun-20	85%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
jul-20	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
ago-20	0%	0%	97%	85%	0%	0%	0%	0%	100%
sep-20	40%	0%	1%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
oct-20	100%	0%	7%	90%	0%	0%	0%	0%	93%
nov-20	35%	0%	94%	96%	0%	0%	0%	0%	82%
dic-20	59%	0%	94%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
ene-21	91%	0%	81%	100%	0%	0%	0%	0%	63%
feb-21	0%	14%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	74%
mar-21	0%	100%	0%	45%	0%	0%	0%	0%	100%
abr-21	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
may-21	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	74%
jun-21	68%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
jul-21	100%	0%	63%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
ago-21	100%	0%	88%	0%	0%	0%	0%	0%	99%
sep-21	8%	0%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
oct-21	0%	0%	88%	36%	0%	0%	0%	0%	43%
nov-21	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
dic-21	0%	0%	0%	96%	0%	0%	0%	0%	0%

**Tabla 10***Resumen de información anual sobre Temperatura.*

Año	Sede	Hospital Guarne	UCO	San Antonio De Pereira	Retiro	Santuario	La Selva	Aeropuerto J. M. Córdova	Rionegro
	CORNARE	CORNARE	CORNARE	CORNARE	IDEAM	IDEAM	IDEAM	IDEAM	SIATA
2020	49%	0%	37%	39%	0%	0%	0%	0%	98%
2021	31%	29%	37%	39%	0%	0%	0%	0%	73%

Se encontró que las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la estación del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA), son las que poseen mayor cantidad de información meteorológica para el periodo de estudio (2020-2021). Sin embargo, las estaciones del IDEAM como se mencionó anteriormente, no entregan información sobre presión atmosférica ni temperatura en un promedio horario, por lo que los análisis que se hacen con estas variables, corresponden a los entregados por la estación SIATA, y las estaciones del SVCA de CORNARE, que, a pesar de no poseer una gran cantidad de información, contienen la suficiente para hacer un análisis meteorológico de las mismas.

### 3.5 Control de calidad de los datos

Al revisar con detalle las variables meteorológicas de cada una de las estaciones, se encontró que en algunas de ellas habían “baches” de información para el periodo de estudio, por lo que estos fueron descartados para el análisis, ya que no se les podía asignar o asociar valores aleatorios, toda vez que estos podían influir en el resultado final. En cuanto a las estaciones del IDEAM, se encontró que se tenía más información de velocidad de viento que de dirección, por lo que, para la elaboración de las rosas de viento, se descartó la información de velocidad de viento coincidente con las direcciones faltantes, ya que como se mencionó anteriormente, no se le podía asignar un valor de cero (0) u otro valor debido a la influencia que podía ejercer en el resultado final. La metodología anterior también fue aplicada en las estaciones del SVCA de CORNARE, ya que, para el caso de velocidad y dirección del viento, la información no era coincidente en algunos puntos. En cuanto a la estación del SIATA, y teniendo en cuenta los criterios bandera, se descartaron los datos marcados como “faltantes” o aquellos marcados como dato “malo”.

### **3.6 Procesamiento de datos**

Para el procesamiento de datos, se utilizó mayormente la herramienta Excel, la cual es de fácil manipulación y que, además, es amigable con los formatos arrojados por las estaciones meteorológicas. Para cada una de las estaciones, se tomaron los datos, y mediante filtros y tablas dinámicas, se seleccionaron para eventualmente calcular los promedios horarios de cada una de las variables, y así poder llevarlas a gráficas. También se utilizó la herramienta WRPlot, la cual se utiliza para la elaboración de rosas de viento y gráficos que permiten visualizar el comportamiento pareado de la velocidad del viento y la dirección del mismo. Se utilizó además la herramienta de ArcGis Pro para la elaboración de algunos mapas de georreferenciación, mapas de precipitación y mapas de temperatura usando métodos de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting), el cual es un método determinista para interpolación multivariante con un conjunto disperso de puntos conocidos.

## **4 Resultados y análisis**

En esta sección se mostrarán los resultados gráficos para cada una de las variables de interés de las estaciones ubicadas en el Valle de San Nicolás para el periodo 2020-2021.

### **4.1 Velocidad del viento y dirección predominante**

En la Figura 6, se muestra la velocidad del viento en un promedio horario para cada una de las estaciones para el periodo de análisis (2020-2021), con las direcciones más frecuente (moda) durante cada hora. En general se observa que la velocidad del viento empieza a aumentar progresivamente desde las 6:00 horas, alcanza sus máximos valores entre las 14:00 y las 15:00 horas, y finalmente empieza a disminuir gradualmente hasta alcanzar su mínimo valor entre las 4:00 y las 6:00 horas.

Ya en particular, se encuentra que en la estación “Retiro”-IDEAM, (ver Figura 6. **a**)) ubicada en el municipio del Retiro, se registran las mayores velocidades entre las 11:00 y 12:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 2,0 y 2,5 m/s, y que, según la escala de Beaufort corresponderían a brisas moderadas. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 2:00 y 4:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 1,0 y 1,5 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Sur-Sureste (SSE) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En estación “Aeropuerto”-IDEAM (aeropuerto José María Córdova) (ver Figura 6. **b**)), ubicada en el municipio de Rionegro, se registran las velocidades del viento más altas entre las 14:00 y 15:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 4,0 y 4,5 m/s, y que, según la escala de Beaufort corresponderían a brisas fuertes. Ya en la noche se registran las velocidades más bajas, entre las 2:00 y 4:00 horas con valores de velocidad que oscilaron entre los 1,0 y 1,5 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Nor-Noreste (NNE) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “La Selva”-IDEAM (ver Figura 6. **c**)), ubicada en el municipio de Rionegro, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,6 y 1,8 m/s, y que, según la escala de Beaufort corresponderían a brisas débiles. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 2:00 y 4:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,4 y 0,7 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Este-Sureste (ESE) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “Santuario”-IDEAM (ver Figura 6. **d**)), ubicada en el municipio del Santuario, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,4 y 1,6 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 2:00 y 4:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,5 y 0,6 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Noroeste (NW) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “Rionegro”-SIATA (ver Figura 6. e)), ubicada en el municipio de Rionegro, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 3,0 y 3,5 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas moderadas. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 5:00 y 7:00 horas, las con valores de velocidad que oscilan entre los 1,0 y 1,3 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Este-Sureste (ESE) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “San Antonio”-CORNARE (ver Figura 6. f)), ubicada en el municipio de San Antonio, Rionegro, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,8 y 2,0 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas moderadas. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 4:00 y 5:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,1 y 0,4 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Este (E) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “Hospital”-CORNARE (ver Figura 6. i)), ubicada en el municipio de Guarne, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,2 y 1,3 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 5:00 y 6:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,1 y 0,4 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Este (E) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

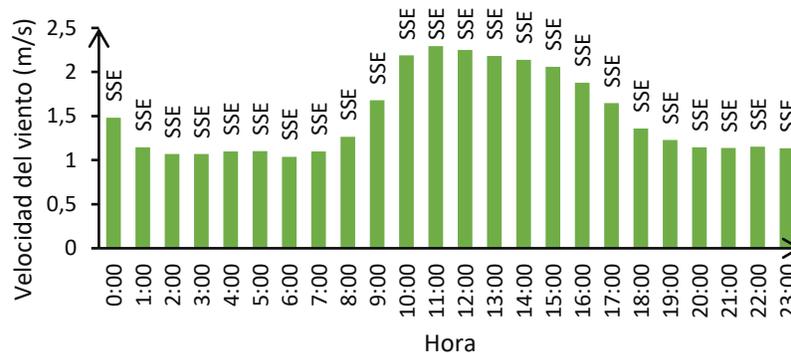
En la estación “Sede”-CORNARE (ver Figura 6. h)), ubicada en el municipio del Santuario, se registran las mayores velocidades entre las 13:00 y 14:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,2 y 1,3 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 5:00 y 6:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,1 y 0,4 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Este (E) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

En la estación “UCO”-CORNARE (Universidad Católica de Oriente) (ver **Figura 6. i**)), ubicada en el municipio de Rionegro, se registran las mayores velocidades entre las 14:00 y 15:00 horas, con velocidades promedio del viento que oscilaron entre los 1,8 y 2,0 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles. Ya en la noche se observan las velocidades más bajas entre las 4:00 y 5:00 horas, con valores de velocidad que oscilan entre los 0,1 y 0,3 m/s, y que, según la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles. Se encuentra además que la dirección más frecuente en este punto es Noreste (NE) para cada una de las 24 horas de monitoreo.

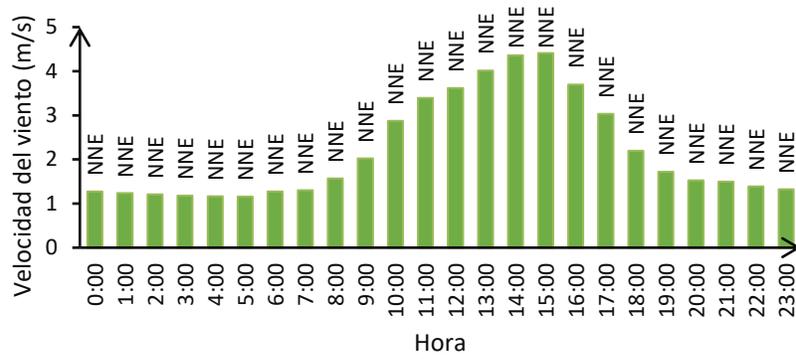
### Figura 6

Velocidad del viento y dirección predominante de las 24 horas para las estaciones **a.) Retiro, b.) J. M. Córdoba, c.) La Selva, d.) Santuario, e.) Rionegro, f.) San Antonio, g.) Sede, h.) Hospital, i.) UCO.**

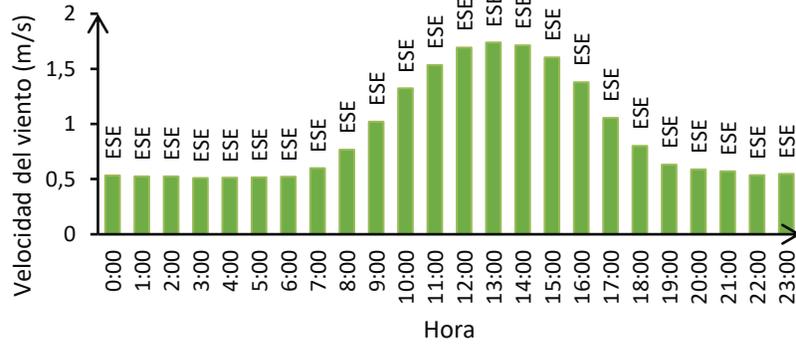
a)



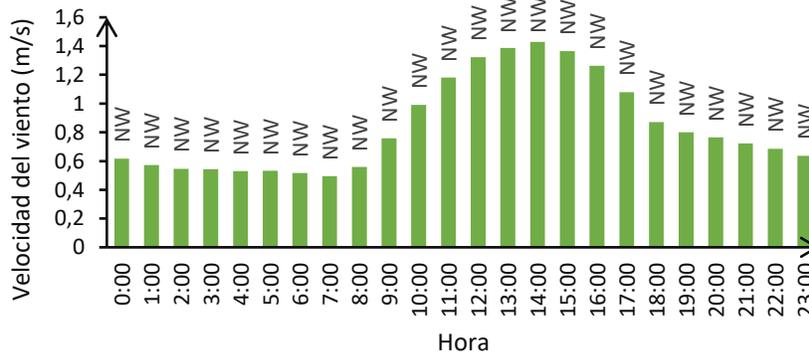
b)



c)



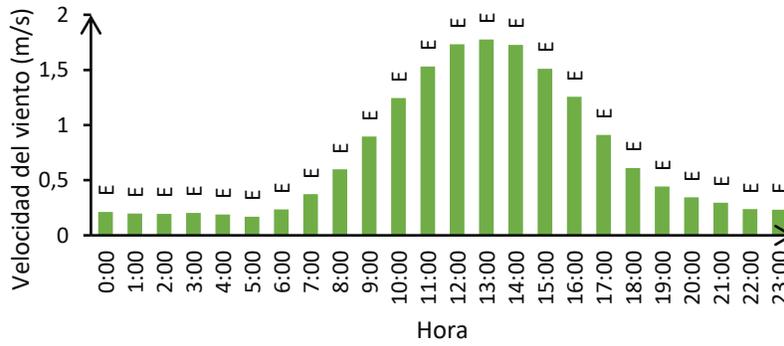
d)



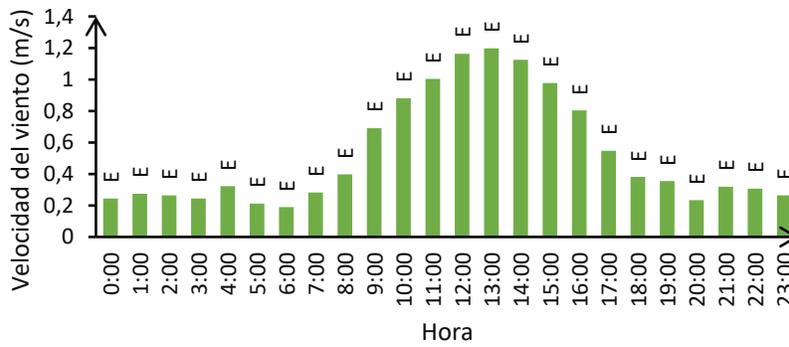
e)



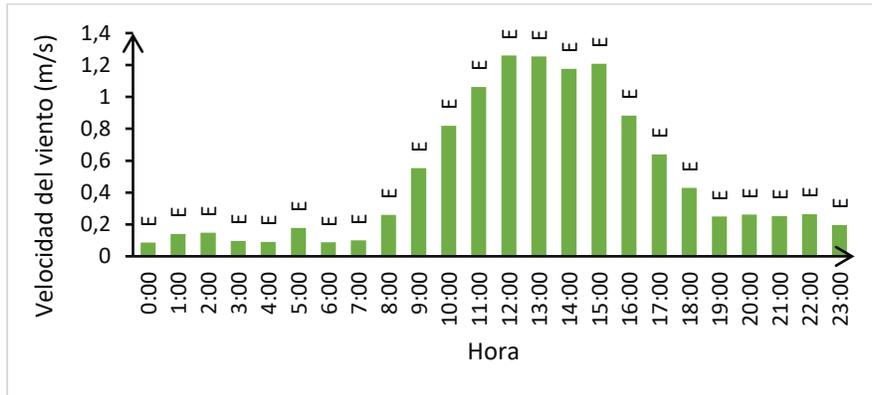
f)



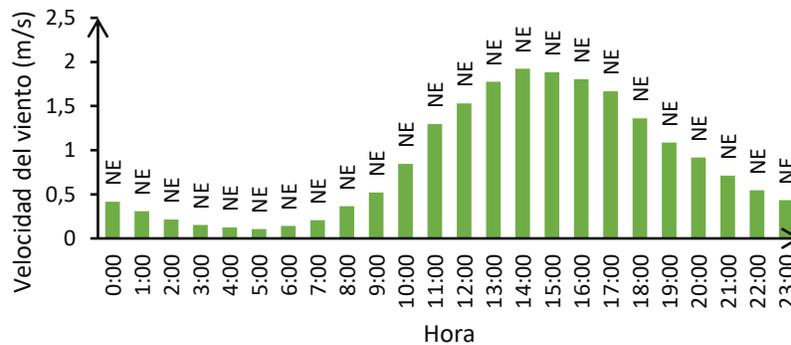
g)



h)



i)



## 4.2 Precipitación

En la Figura 7, se presenta la distribución de la precipitación dado en porcentaje (%) para cada una de las estaciones que estuvieron operativas durante el periodo de estudio (2020-2021) en el Valle de San Nicolás.

En general, se observa que, en la mayoría de las estaciones, la precipitación tiende a concentrarse más en horas de la noche, desde las 22:00 hasta las 4:00 horas. Ya durante el día, las precipitaciones en el Valle de San Nicolás tienden a disminuir, pero no se observan tendencias o valores absolutos de distribución de precipitación en este periodo.

Ya en particular, se muestra que, para la estación “Retiro”-IDEAM (Figura 7. a)), ubicada en el municipio del Retiro, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 2:00 horas, concentrándose allí el 6,7% de la precipitación total. El pico más bajo se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 12:00 horas concentrando apenas el 1,08% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 66,26% de la precipitación total y 33,74% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “Aeropuerto”-IDEAM, (aeropuerto José María Córdova) (Figura 7. c)), ubicada en el municipio de Rionegro, los picos de mayor precipitación se presentan en el periodo diurno, más específicamente a las 10:00 y 11:00 horas, concentrando cada una el 5,4% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 19:00 horas concentrando apenas el 2,24% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 58,54% de la precipitación total y el 41,46% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “Santuario”-IDEAM (Figura 7. i)), ubicada en el municipio del Santuario, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 3:00 horas, concentrándose allí el 9,49% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 13:00 horas concentrando apenas el 0,88% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 81,05% de la precipitación total y el 18,95% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “Rionegro”-SIATA (Figura 7. e)), ubicada en el municipio de Rionegro, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 0:00 horas, concentrándose allí el 8,66% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 11:00 horas concentrando apenas el 1,12% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 78,44% de la precipitación total y el 21,56% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “Hospital”-CORNARE (Figura 7. b)), ubicada en el municipio de Guarne, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 1:00 horas, concentrándose allí el 8.44% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 11:00 horas concentrando apenas el 0.44% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 76.22% de la precipitación total y el 23.78% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “San Antonio”-CORNARE (Figura 7. f)), ubicada en el municipio de San Antonio de Pereira, Rionegro, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 0:00 horas, concentrándose allí el 7,25% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 11:00 horas, concentrando apenas el 1,01% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno albergando el 69,42% de la precipitación total y el 30,52% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

En la estación “La Selva”-IDEAM (Figura 7. d)), ubicada en el municipio de Rionegro, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 3:00 horas, concentrándose allí el 7,64% de la precipitación total. El pico más bajo, se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 21:00 horas concentrando apenas el 1,91% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno albergando el 59,24% de la precipitación total y el 40,76% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

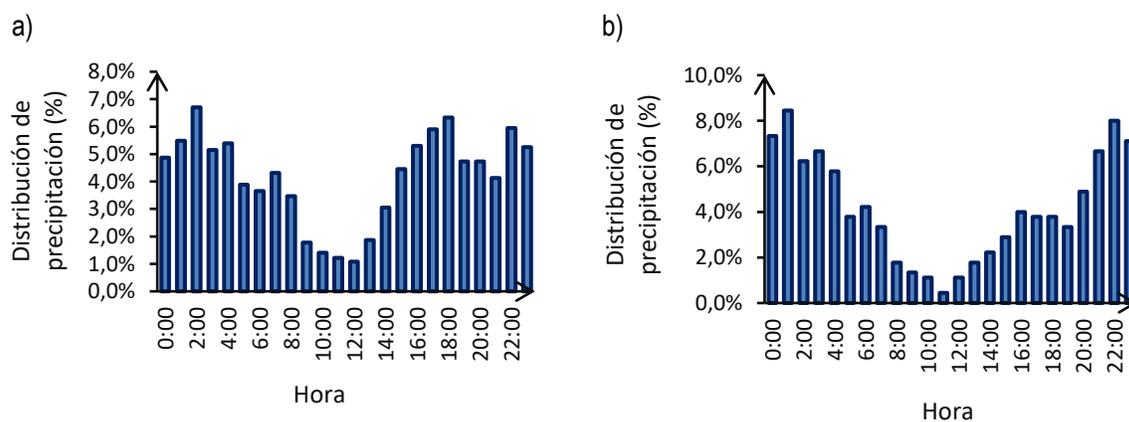
En la estación “Sede”-CORNARE (Figura 7. g)), ubicada en el municipio de El Santuario, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 1:00 horas, concentrándose allí el 9,33% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se

presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 14:00 horas concentrando apenas el 0,54% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 80,65% de la precipitación total y el 19,35% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

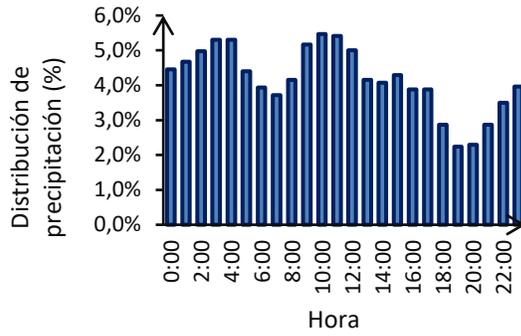
En la estación “UCO”-CORNARE, (Universidad Católica de Oriente) (Figura 7. h)), ubicada en el municipio de Rionegro, el pico de mayor precipitación se presenta en el periodo nocturno, más específicamente a las 4:00 horas, concentrándose allí el 8,05% de la precipitación total. Ya el pico más bajo, se presenta en el periodo diurno, más específicamente a las 15:00 horas concentrando apenas el 1,4% de la precipitación total. En general, la distribución de precipitación muestra que esta tiende a concentrarse más durante el periodo nocturno, albergando el 65,69% de la precipitación total y el 34,31% restante, corresponde a la distribución de precipitación durante el periodo diurno.

### Figura 7

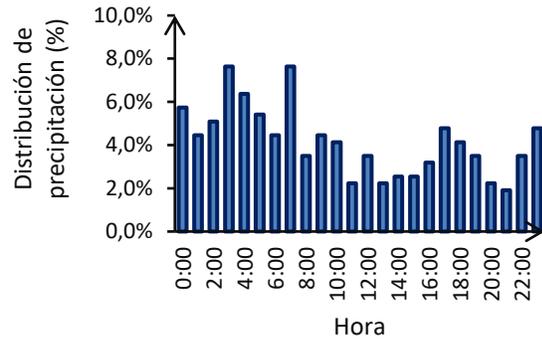
Distribución de la precipitación de las 24 horas en las estaciones **a.) Retiro**, **b.) Hospital**, **c.) J.M. Córdova**, **d.) La Selva**, **e.) Rionegro**, **f.) San Antonio**, **g.) Sede**, **h.) UCO**, **i.) Santuario**.



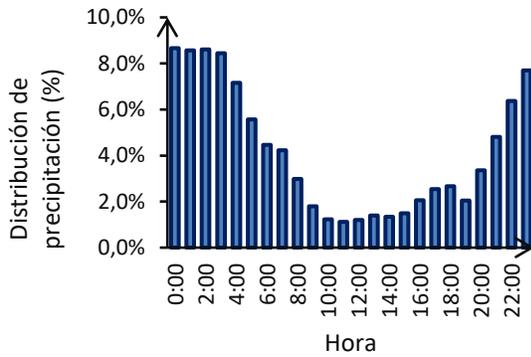
c)



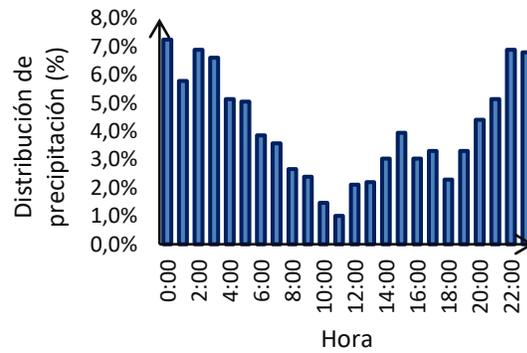
d)



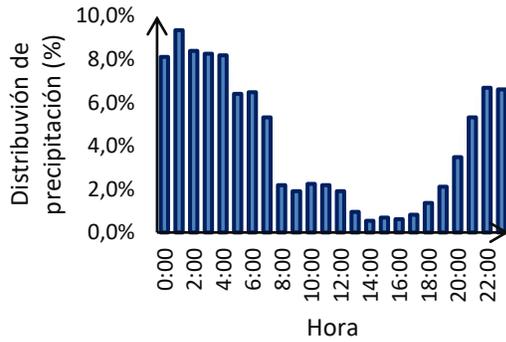
e)



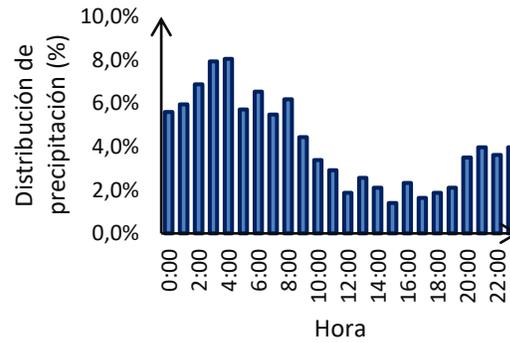
f)



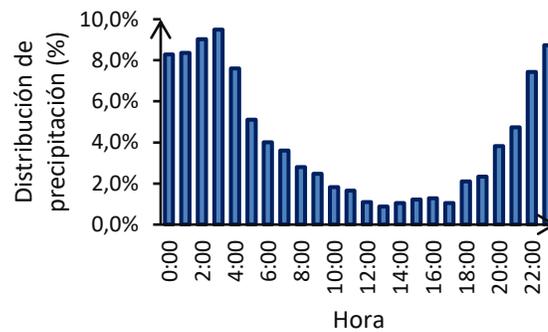
g)



h)



i)



Teniendo en cuenta la información presentada en la Tabla 6 en cuanto a la disponibilidad de datos de precipitación para el periodo de estudio, se puede evidenciar que las estaciones, Rionegro-Siata, Aeropuerto-IDEAM, La Selva -IDEAM y Santuario- IDEAM, contaron con casi el 100% de la información de precipitación, por lo que con estas se puede realizar un mapa de isoyetas, mediante método IDW (Inverse Distance Weighting). Para realizar dicha interpolación, se debe conocer el valor de precipitación acumulada del año, por lo que en la Tabla 11 se presentan las precipitaciones acumuladas del año 2020 para de las estaciones de interés.

**Tabla 11**

*Precipitación Acumulada del año en estaciones IDEAM y SIATA 2020.*

Estación	Precipitación Acumulada mm año 2020
Aeropuerto J. M. Córdoba- IDEAM	209,9
La Selva-IDEAM	235,9
Santuario- IDEAM	662
Rionegro-SIATA	979,42

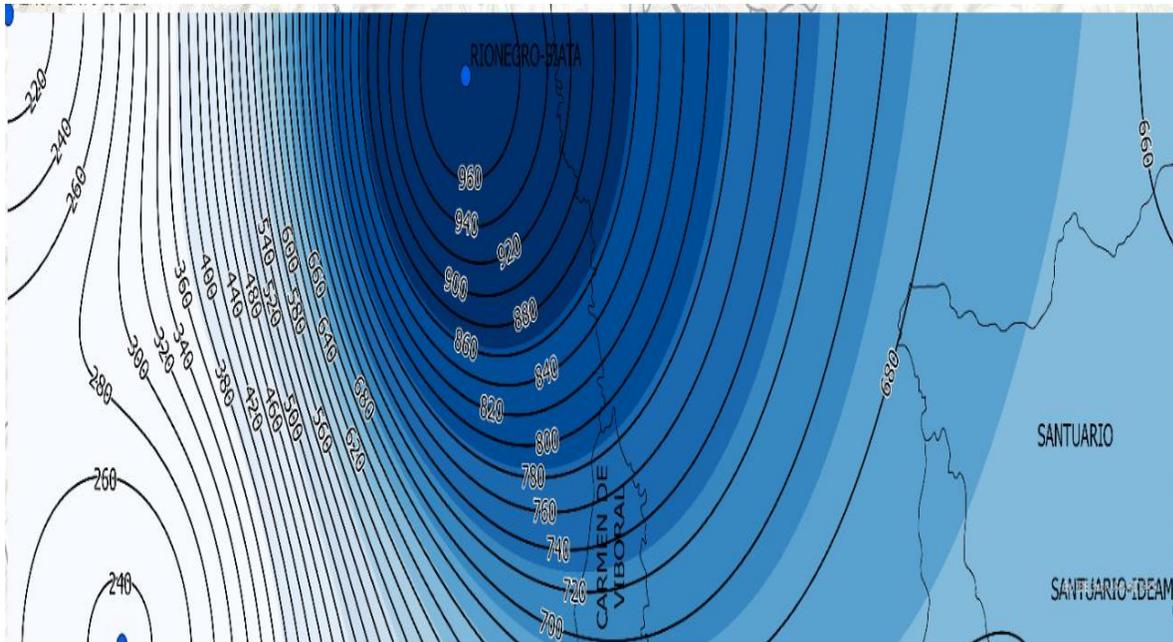
Cabe resaltar que, el método IDW, sólo cubre las áreas que se encuentran dentro de las estaciones que contienen la información, por lo que el resultado sólo abarca una parte de los municipios del Retiro, Rionegro, Marinilla y El Santuario. En la Figura 8 se muestra el mapa de precipitaciones (isoyetas) para el año 2020 para los municipios del Retiro, Rionegro, Marinilla y el Santuario.

Como se muestra en la Figura 8, las mayores precipitaciones se concentraron en el municipio de Rionegro, con un valor acumulado de 979,42 mm al año, seguido por el municipio

del Santuario, en donde se encuentra un valor de precipitación acumulado de 662 mm al año. Las menores precipitaciones se presentan en los alrededores del aeropuerto José María Córdova con un valor acumulado de precipitación de 209,9 mm, lo cual se apoya en el valor de precipitación acumulada encontrado en la estación La Selva, con un valor de 235,9 mm al año, la cual se encuentra cerca a la estación Aeropuerto.

### **Figura 8**

*Mapa de precipitación acumulada del año 2020.*



### **4.3 Temperatura vs Velocidad del viento**

La Figura 9, muestra el promedio horario de temperaturas vs velocidad del viento para el periodo de estudio (2020-2021), en unidades de grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y metro por segundo (m/s) respectivamente. En general, se observa que la temperatura y la velocidad del viento empiezan a aumentar progresivamente desde las 6:00 horas, alcanzan sus máximos valores entre las 14:00 y las 15:00 horas, y finalmente empieza a disminuir hasta alcanzar su mínimo valor entre las 4:00 y

las 6:00 horas. Se observa además que la relación entre ambas variables es directamente proporcional, esto es, cuando una variable aumenta, la otra también lo hace.

Ya en particular, en la estación “Hospital” (Figura 9, a)), del municipio de Guarne, se observa que las mayores velocidades del viento se registraron en el periodo diurno, con velocidades que oscilaron entre los 1,2 y 1,4 m/s, y que son proporcionales a los picos de mayores temperaturas, los cuales se registran en el mismo periodo, entre las 14:00 y 15:00 horas, con valores que oscilan entre los 19 y 20 °C, mientras que en periodo nocturno, se registraron las velocidades más bajas, las cuales oscilaron entre los 0,1 y los 0,4 m/s, siendo también proporcionales a las temperaturas más bajas registradas, las cuales se dan en el mismo periodo entre las 4:00 y 6:00 horas con valores que oscilan entre los 13 y 15°C.

En la estación “Rionegro” (Figura 9, b)) en el municipio de Rionegro, se observa que las mayores velocidades del viento se registraron en el periodo diurno, con velocidades que oscilaron entre los 3,0 y 3,5 m/s, y que son proporcionales a los picos de mayores temperaturas, los cuales se registran en el mismo periodo, entre las 14:00 y 15:00 horas, con valores que oscilan entre los 20 y 21 °C, mientras que en periodo nocturno, se registraron las velocidades más bajas, las cuales oscilaron entre los 1,0 y los 1,3 m/s, siendo también proporcionales a las temperaturas más bajas registradas, las cuales se dan en el mismo periodo entre las 4:00 y 6:00 horas con valores que oscilan entre los 13 y 14°C.

En la estación “San Antonio” (Figura 9, c)) en el municipio de San Antonio de Pereira, Rionegro, se observa que las mayores velocidades del viento se registraron en el periodo diurno, con velocidades que oscilaron entre los 1,8 y 2,0 m/s, y que son proporcionales a los picos de mayores temperaturas, los cuales se registran en el mismo periodo, entre las 12:00 y 14:00 horas, con valores que oscilan entre los 23 y 24 °C, mientras que en periodo nocturno, se registraron las velocidades más bajas, las cuales oscilaron entre los 0,1 y los 0,4 m/s, siendo también proporcionales a las temperaturas más bajas registradas, las cuales se dan en el mismo periodo entre las 4:00 y 6:00 horas con valores que oscilan entre los 15 y 1°C.

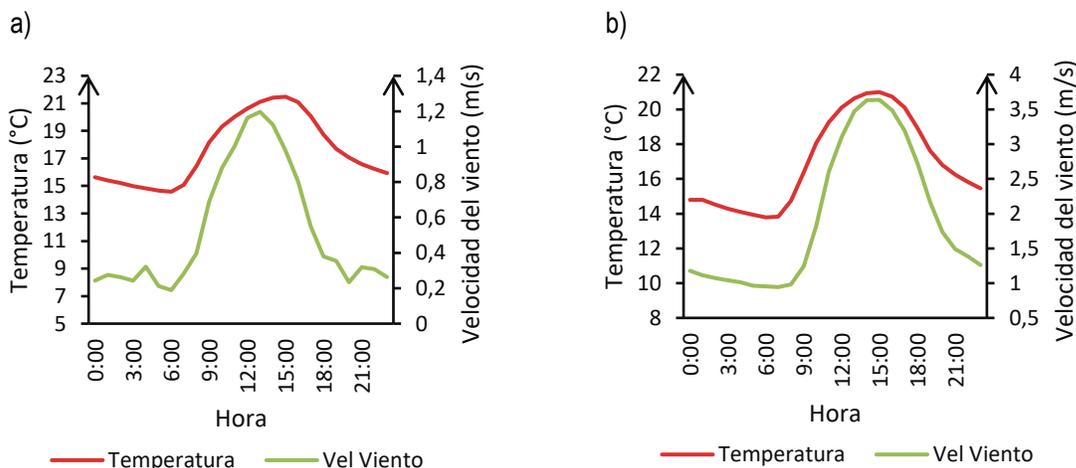
En la estación “Sede” (Figura 9, d)) en el municipio de El Santuario, se observa que las mayores velocidades del viento se registraron en el periodo diurno, con velocidades que oscilaron entre los 1,2 y 1,3 m/s, y que son proporcionales a los picos de mayores temperaturas, los cuales

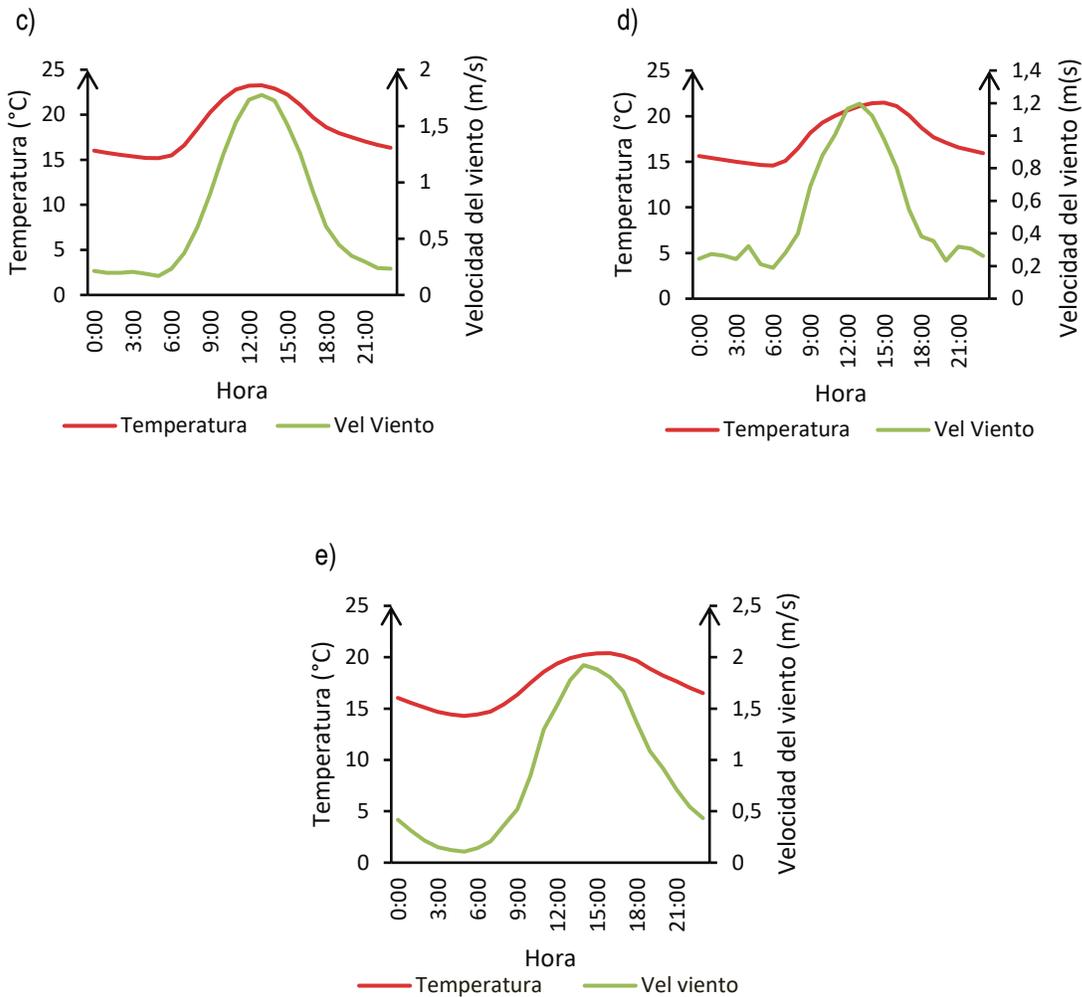
se registran en el mismo periodo, entre las 14:00 y 15:00 horas, con valores que oscilan entre los 20 y 23 °C, mientras que en periodo nocturno, se registraron las velocidades más bajas, las cuales oscilaron entre los 0,1 y los 0,4 m/s, siendo también proporcionales a las temperaturas más bajas registradas, las cuales se dan en el mismo periodo entre las 4:00 y 6:00 horas con valores que oscilan entre los 14 y 15°C.

En la estación “UCO” (Universidad Católica de Oriente) (Figura 9, c)), Rionegro, se observa que las mayores velocidades del viento se registraron en el periodo diurno, con velocidades que oscilaron entre los 1,8 y 2,0 m/s, y que son proporcionales a los picos de mayores temperaturas, los cuales se registran en el mismo periodo, entre las 14:00 y 15:00 horas, con valores que oscilan entre los 20 y 21 °C, mientras que en periodo nocturno, se registraron las velocidades más bajas, las cuales oscilaron entre los 0,1 y los 0,4 m/s, siendo también proporcionales a las temperaturas más bajas registradas, las cuales se dan en el mismo periodo entre las 4:00 y 6:00 horas con valores que oscilan entre los 14 y 15°C.

### Figura 9

Gráfica de Temperatura vs Velocidad del Viento estaciones a.) Hospital, b.) Rionegro, c.) San Antonio, d.) Sede, e.) UCO.





#### 4.4 Temperatura vs Presión atmosférica

La Figura 10, muestra la relación entre la temperatura y la presión atmosférica para el periodo de estudio (2020-2021), dado en unidades de grados Celsius °C y Hectopascales (hPa) respectivamente. En general, se observa una relación inversa entre la presión y la temperatura, esto es, mientras una aumenta, la otra disminuye. Las temperaturas más altas se presentan en el periodo diurno (6:00-18:00), entre las 14:00 y 15:00, mientras que la presión atmosférica alcanza los valores más bajos en este mismo periodo entre las 14:00 y 15:00 (cuando la temperatura es más alta). Las temperaturas más bajas se registran en el periodo nocturno entre las 4:00 y 6:00 horas, periodo en el cual se registran las presiones más altas, entre las 4:00 y 6:00 horas (cuando la

temperatura es más baja). Esto se debe a que un aumento de temperatura corresponde a una dilatación del aire y, por tanto, una disminución de presión entre las moléculas del aire y viceversa: Un descenso de temperatura produce una contracción del aire, y en consecuencia un aumento de presión (Moreno, 2020).

Ya en particular, en la estación, “Hospital” (Figura 10. a)) del municipio de Guarne, la temperatura alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 16:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los 19 y los 20 °C, y registra valores mínimos entre las 18:00 y las 6:00 horas con temperaturas que oscilan entre los 13°C y los 15°C. En cuanto a la presión atmosférica, se observa que esta disminuye durante el periodo diurno, alcanzando los valores más bajos entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con presiones que oscilan entre los 877 y 888 HPa, Ya en la noche, se registran los valores más altos de presión atmosférica, entre las 4:00 y las 6:00 (cuando la temperatura es más baja), con valores de presión que oscilan entre los 883 y los 884 HPa. Se resalta el hecho de que las presiones registradas en esta estación son bastante altas si se compara con la altura a la cual se encuentra el municipio de Guarne, por lo que se podría decir que estos registros de presión son erróneos.

En la estación, “Rionegro” (Figura 10. b)) del municipio de Rionegro, la temperatura alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 16:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los 20 y los 21 °C, y registra valores mínimos entre las 18:00 y las 6:00 horas con temperaturas que oscilan entre los 13 y los 14°C. En cuanto a la presión atmosférica, se observa que esta disminuye durante el periodo diurno, alcanzando los valores más bajos entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con presiones de 775 HPa, La presión más alta también se registra durante el periodo diurno, alrededor de las 8:00 horas, con valores de presión que oscilan entre los 788 y los 884 HPa.

En la estación, “San Antonio” (Figura 10. c)), ubicada en el municipio de San Antonio de Pereira, Rionegro, la temperatura alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 16:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los 23 y 24 °C, y registra valores mínimos entre las 18:00 y las 6:00 horas con temperaturas que oscilan entre los 15°C y los 16°C. En cuanto a la presión atmosférica, se observa que esta disminuye durante el periodo diurno, alcanzando los valores más bajos entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con presiones que oscilan entre los

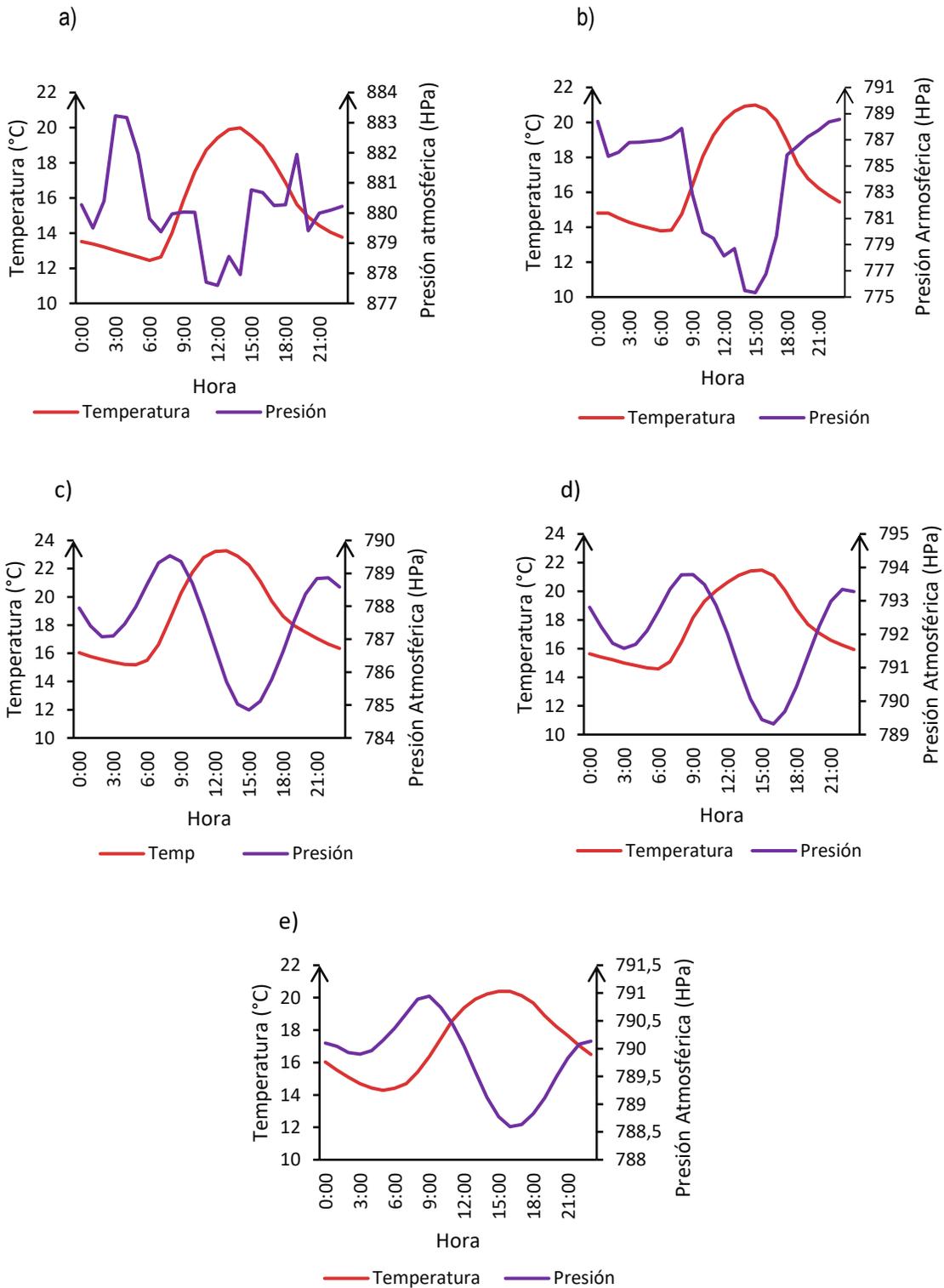
877 y 888 HPa, La presión más alta también se registra durante el periodo diurno, alrededor de las 8:00 horas, con valores de presión que oscilan entre los 592 y los 593 HPa.

En la estación, “Sede” (Figura 10. d)) ubicada en el municipio de El Santuario, la temperatura alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 15:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los 21 y los 22 °C, y registra valores mínimos entre las 18:00 y las 6:00 horas con temperaturas que oscilan entre los 14 a los 15°C. En cuanto a la presión atmosférica, se observa que esta disminuye durante el periodo diurno, alcanzando los valores más bajos entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con presiones que oscilan entre los 789 y 790 HPa, La presión más alta también se registra durante el periodo diurno, alrededor de las 8:00 horas, con valores de presión que oscilan entre 793 y los 794 HPa.

En la estación, “UCO” (Universidad Católica de Oriente) (Figura 10. e)) ubicada en el municipio Rionegro, la temperatura alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 15:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los 20 y los 21 °C, y registra valores mínimos entre las 18:00 y las 6:00 horas con temperaturas que oscilan entre los 14 y los 15°C. En cuanto a la presión atmosférica, se observa que esta disminuye durante el periodo diurno, alcanzando los valores más bajos entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con presiones de 788,5 HPa, La presión más alta también se registra durante el periodo diurno, alrededor de las 8:00 horas, con valores de presión de alrededor de 791 HPa.

### **Figura 10**

*Gráfica de Temperatura vs Presión Atmosférica en las estaciones a.) Hospital, b.) Rionegro, c.) San Antonio, d.) Sede, e) UCO.*



#### 4.5 Temperatura vs humedad relativa

En la Figura 11, se hace el análisis pareado de las variables, humedad relativa y temperatura de las estaciones ubicadas en el Valle de San Nicolás para el periodo de estudio 2020-2021.

Las gráficas muestran el promedio horario de temperatura y humedad relativa para el periodo de estudio (2020-2021), en unidades de grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y porcentaje (%) respectivamente. En general observa una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa para las estaciones de estudio, esto es, cuando la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuye. Se observa además que la humedad relativa en el valle de San Nicolás puede alcanzar valores de hasta el 100% (valores máximos) en algunos lugares entre las 18:00 y las 6:00 horas (periodo nocturno) y llegar a disminuir hasta valores del 30% a 40% (valores mínimos) durante las 6:00 y las 18:00 horas (periodo diurno). En cuanto a la temperatura, se observa que esta alcanza sus valores máximos entre las 14:00 y 16:00 horas, con temperaturas que oscilan entre los  $20^{\circ}\text{C}$  y los  $25^{\circ}\text{C}$  y registra valores mínimos en entre las 18:00 y las 6:00 con temperaturas que oscilan entre los  $13^{\circ}\text{C}$  y los  $15^{\circ}\text{C}$ . En síntesis, se encuentra que, en todas las estaciones, las variables temperatura y humedad exhiben este mismo comportamiento independientemente de su ubicación, esto es, mientras la temperatura aumenta, la humedad disminuye y viceversa. Este comportamiento se presenta, debido a que la temperatura define la presión de saturación de vapor de agua. Un pequeño cambio en el valor de la temperatura, principalmente en altas humedades, tiene un efecto significativo en la humedad relativa, ya que la presión de saturación de vapor de agua cambia también (Novus, 2008).

Ya en específico, se encuentra que, en la estación “UCO” (Figura 11. a)) ubicada en la Universidad Católica de Oriente, en el municipio de Rionegro, la temperatura empieza a aumentar desde las 6:00 horas, alcanza su máximo valor entre las 14:00 y 15:00 horas con temperaturas promedio que oscilan entre los  $20$  y  $21^{\circ}\text{C}$ , y eventualmente empieza a descender hasta alcanzar los umbrales mínimos entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores promedios de temperatura que se encuentra entre los  $14$  a  $15^{\circ}\text{C}$ . Así mismo, la humedad relativa empieza a descender desde las 6:00 horas, alcanza su mínimo valor entre las 14:00 y 16:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con valores promedio de  $43$  y  $44\%$  de humedad relativa y luego empieza a ascender gradualmente durante el periodo nocturno, con valores promedio máximos de humedad relativa que oscilan entre el  $57$  y el  $60\%$ .

En la estación “Rionegro” (Figura 11. b)) ubicada en el municipio de Rionegro, se observa que, la temperatura empieza a aumentar gradualmente desde las 6:00 horas, alcanza su máximo valor entre las 14:00 y 15:00 horas con temperaturas promedio que oscilan entre los 20 y 21°C, y eventualmente empieza a descender hasta alcanzar los umbrales mínimos entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores promedios de temperatura que se encuentran entre los 13 y 14°C. Así mismo, la humedad relativa empieza a descender desde las 6:00 horas, alcanza su mínimo valor entre las 14:00 y 16:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con valores promedio de 79 y 80% de humedad relativa y luego empieza a ascender gradualmente durante el periodo nocturno, alcanzando valores promedio máximos de humedad relativa que oscilan entre el 91 y el 93%.

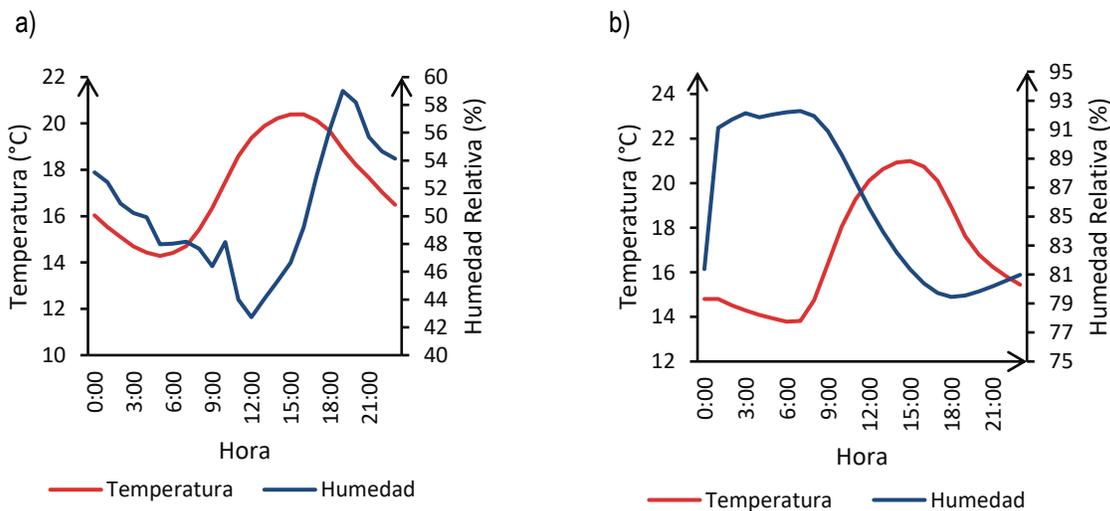
En la estación “Sede” (Figura 11. c)), ubicada en el municipio del El Santuario, se observa que, la temperatura comienza a aumentar desde las 6:00 horas, alcanza su máximo valor entre las 14:00 y 15:00 horas con temperaturas promedio que oscilan entre los 21 y 22°C, y eventualmente empieza a descender hasta alcanzar los umbrales mínimos entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores promedios de temperatura que se encuentran entre los 14 y 15°C. Así mismo, la humedad relativa empieza a descender desde las 6:00 horas, alcanza su mínimo valor entre las 14:00 y 16:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con valores promedio de 62 y 63% de humedad relativa y luego empieza a ascender gradualmente durante el periodo nocturno (18:00-6:00), alcanzando valores promedio máximos de humedad relativa que oscilan entre el 78 y el 79%.

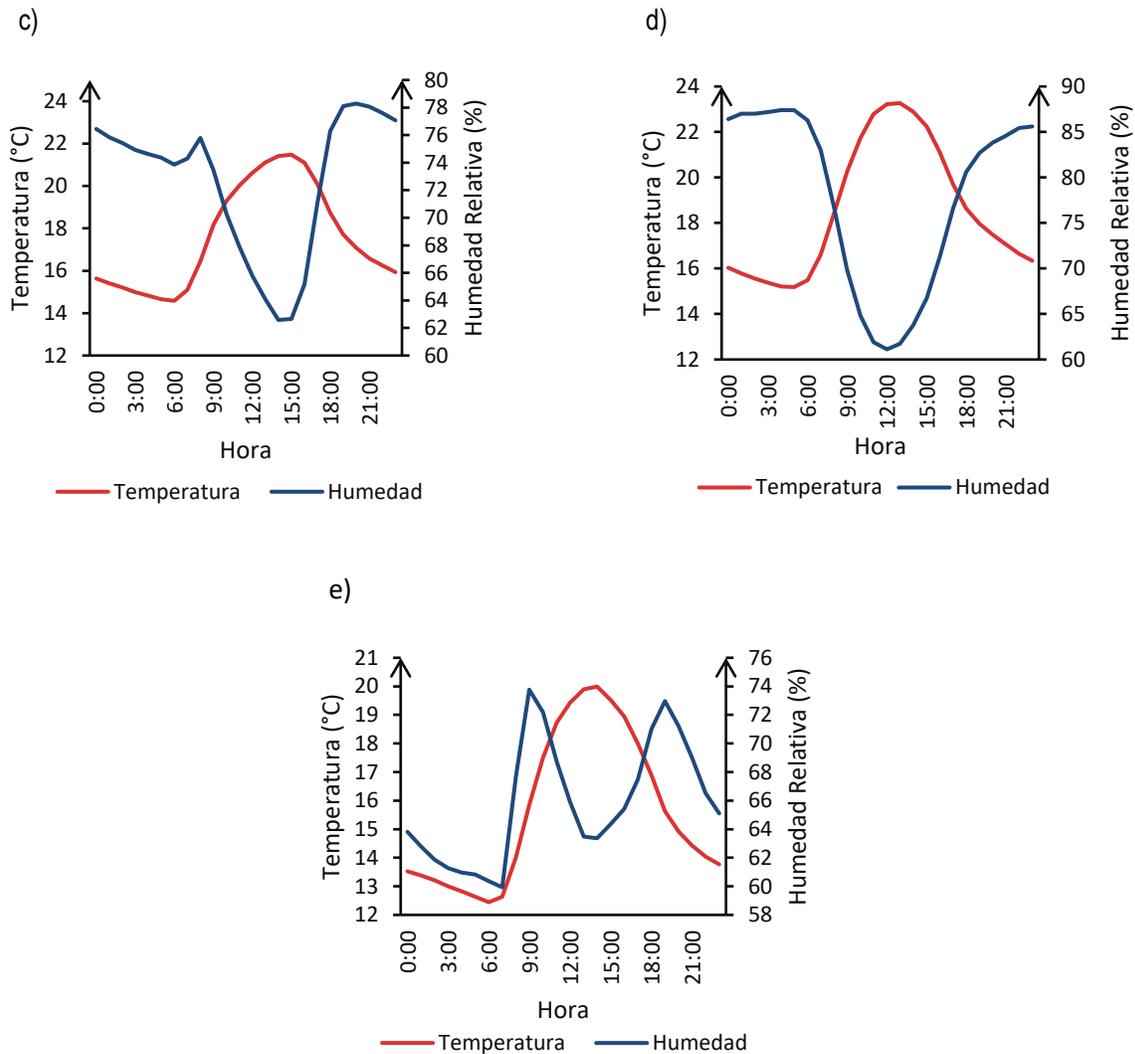
En la estación “San Antonio” (Figura 11. d)), ubicada en el municipio de San Antonio de Pereira, Rionegro, se observa que, la temperatura empieza a aumentar gradualmente desde las 6:00 horas, alcanza su máximo valor entre las 12:00 y 14:00 horas con temperaturas promedio que oscilan entre los 23 y 24°C, y eventualmente empieza a descender hasta alcanzar los umbrales mínimos entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores promedios de temperatura que se encuentran entre los 15 y 16°C. Así mismo, la humedad relativa empieza a descender desde las 6:00 horas, alcanza su mínimo valor entre las 14:00 y 16:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con valores promedio de 61 y 62% de humedad relativa y luego empieza a ascender gradualmente durante el periodo nocturno, alcanzando valores promedio máximos de humedad relativa que oscilan entre el 85 y el 88%.

En la estación “Hospital” (Figura 11. e)), ubicada en el municipio de Guarne, se observa que, la temperatura comienza a aumentar desde las 6:00 horas, alcanza su máximo valor entre las 14:00 y 16:00 horas con temperaturas promedio que oscilan entre los 19 y 20°C, y eventualmente empieza a descender hasta alcanzar los umbrales mínimos entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores promedios de temperatura que se encuentran entre los 13 y 15°C. Así mismo, la humedad relativa empieza a descender desde las 6:00 horas, alcanza su mínimo valor entre las 14:00 y 16:00 horas (cuando la temperatura es máxima), con valores promedio de 60 y 61% de humedad relativa y luego empieza a ascender gradualmente durante el periodo nocturno, alcanzando valores promedio máximos de humedad relativa que oscilan entre el 74 y el 75%.

### Figura 11

Gráfica de Temperatura vs Humedad Relativa para las estaciones a.) UCO, b.) Rionegro, c.) Sede, d.) San Antonio, e) Hospital.





Como se mencionó anteriormente, las estaciones del IDEAM arrojan información sobre el promedio de temperatura anual, por lo que se tomaron estos datos y junto con los recopilados en las demás estaciones, se realiza un mapa de Isotermas, mediante método IDW (Inverse Distance Weighting), el cual es un método determinista para interpolación multivariante con un conjunto disperso de puntos conocidos. Para realizar dicha interpolación, se debe conocer el valor de temperatura promedio del año, por lo que en la Tabla 12 se presentan las precipitaciones acumuladas del año 2020 y 2021 para de las estaciones de interés.

**Tabla 12**

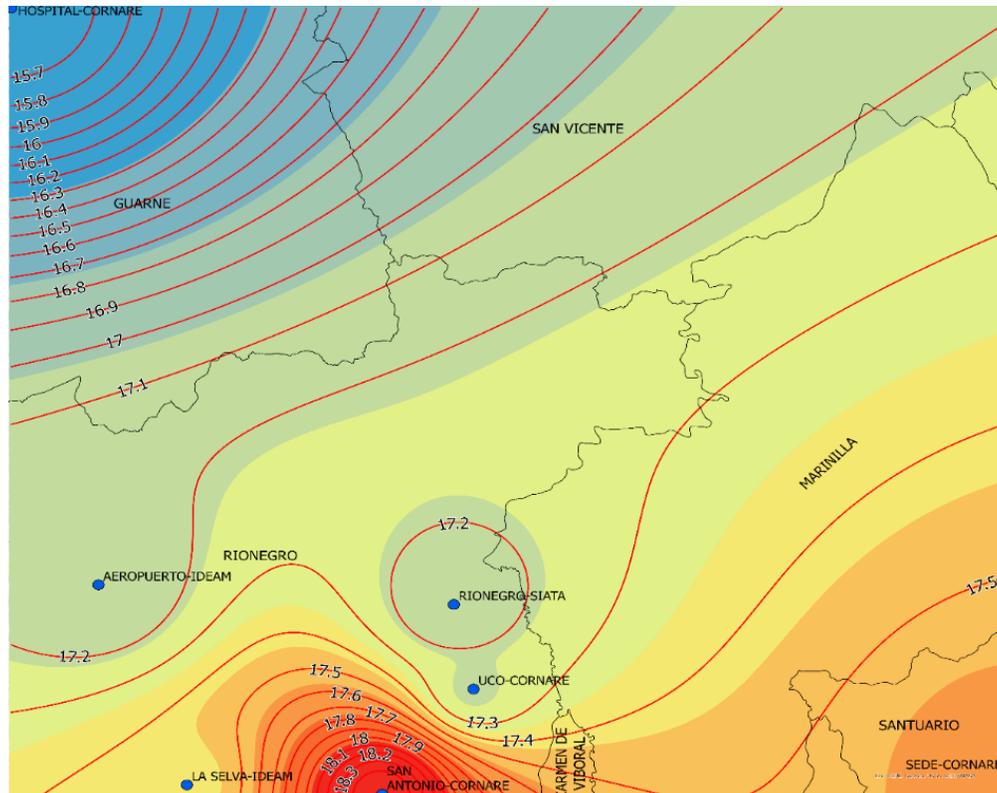
*Temperatura promedio multianual.*

<b>Estación</b>	<b>Temperatura promedio multianual (°C)</b>
Aeropuerto-IDEAM	17,1
La Selva-IDEAM	17,4
Rionegro-SIATA	17,1
Sede-CORNARE	17,6
Hospital-CORNARE	15,6
UCO-CORNARE	17,2
San Antonio-CORNARE	18,5

En la Figura 12, se observa que las temperaturas más altas se registran en San Antonio de Pereira, Rionegro, con valores promedio anuales de 18,5 grados Celsius. En el Santuario, Rionegro, Marinilla y el Carmen de Viboral, las temperaturas en promedio anuales oscilan entre los 17 y 17,5 °C, y las temperaturas más bajas se registran en el municipio de Guarne, con temperaturas promedio de 15,6 °C.

**Figura 12**

*Mapa de temperatura media anual (Isotermas).*



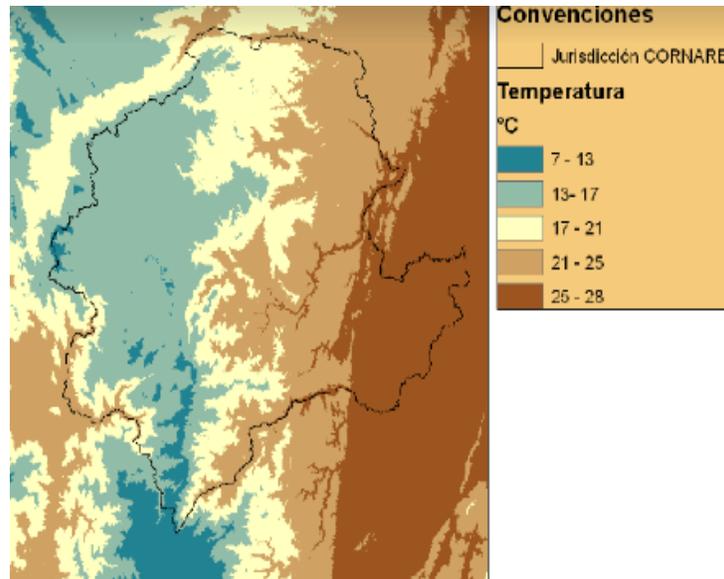
Actualmente, CORNARE solo cuenta con algunos mapas de temperatura de su jurisdicción hechos en base a lo propuesto por UNALMED & CORNARE (2001), donde la relación cota-temperatura viene dada por la siguiente ecuación:

$$T[{}^{\circ}\text{C}] = 29.998 - 0.0056H \quad \text{Ecuación 1. Relación cota temperatura}$$

Donde  $T_{\text{media}}$  es la temperatura media anual en ( ${}^{\circ}\text{C}$ ), y  $H$  es la altura en (m) sobre el nivel del mar. Es así que la información contenida en la Figura 13, puede ser contrastada con el mapa de temperatura en la jurisdicción de CORNARE dada por cotas de altura de Cenicafé, como se muestra en la figura siguiente:

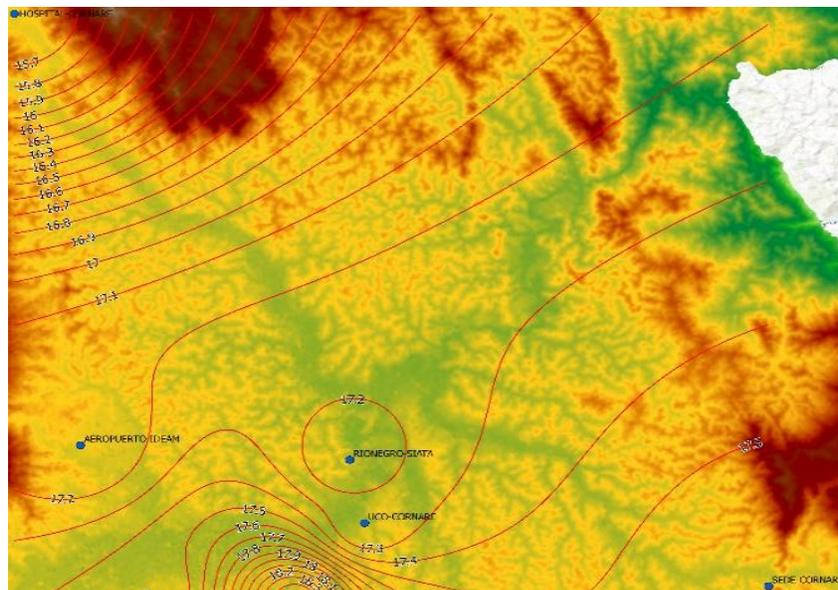
**Figura 13**

*Mapa Temperatura media anual CORNARE&Unalmed.*



**Figura 14**

Mapa de Temperatura media anual vs altura.



Los resultados obtenidos en la Figura 12, pueden ser contrastados entonces con lo obtenido en la Figura 13 y Figura 14, en donde se observa que, en el municipio de Guarne se presenta una mayor variación de altura con respecto a los municipios de Rionegro, El Santuario, Marinilla, El Carmen de Viboral y San Antonio de Pereira. Es por esto, que la temperatura registrada en el

municipio de Guarne, es menor que la registrada en los demás municipios, encontrándose un delta de temperaturas de hasta 1,4 °C por cada 84 metros en el aumento de altura sobre el nivel del mar (diferencia de altura de San Antonio de Pereira y Guarne). Se sabe además que la temperatura es inversamente proporcional a la altura, y se puede corroborar entonces la información a que hace referencia la  $T[°C]=29.998-0.0056H$  **Ecuación 1** y la Figura 13. A esta variación (disminución de la temperatura con la altura), se le conoce como gradiente térmico vertical, y es debido a que la fuente de calor que está irradiando la atmósfera, proviene del suelo. Así, cuanto más se aleja de la fuente, el aire estará más frío (Sánchez).

#### **4.6 Rosas de viento anuales, diurnas y nocturnas para cada una de las estaciones**

##### 4.6.1 Estación Retiro – IDEAM

Para la estación ubicada en el municipio del Retiro, Antioquia, se muestra una tendencia de vientos para el periodo anual provenientes del Este (E) y Sur-Sureste (SSE), dirigiéndose hacia el Oeste (E) y el Noreste (NE) respectivamente, con velocidades máximas que oscilan entre los 3,6 y 5,7 m/s, y que, según la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles y brisas moderadas. La frecuencia de distribución de vientos muestra además que el 90% de las veces los vientos oscilaron entre los 0,30 y los 1,5 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, seguidos por vientos entre los 1,5 y 3 m/s con una frecuencia del 29% para el periodo anual. Es de resaltar además que las calmas fueron menores al 1%, por lo que se puede decir que, siempre hay tendencia de vientos en el municipio del Retiro en todo el año.

Durante el periodo diurno, se muestra una tendencia de vientos muy similar a la anual, con vientos provenientes del Este (E) y Sur-Sureste (SSE) y que se dirigen hacia el Nor-Noroeste (NNW) y el Oeste (W). Las velocidades máximas también oscilan entre los 3,6 y 5,7 m/s que, según la escala de Beaufort en ese intervalo, corresponden a brisas débiles y brisas moderadas. La frecuencia de distribución de vientos muestra además que el 46% de las veces los vientos oscilan entre los 1,5 y 3 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles y a brisas moderadas, seguido de vientos

con una frecuencia del 43,1% y que oscilan entre los 0,3 y 1,5 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles. También se resalta que las calmas en este periodo son menores al 1%.

Para el periodo nocturno, los vientos provienen predominantemente del Nor-Noroeste (NNW) dirigiéndose hacia el Sur-Sureste (SSE). Las velocidades de estos oscilan entre los 0,5 y 2,1 m/s y que, según la escala de Beaufort, corresponden a brisas débiles. La frecuencia de distribución de vientos muestra además que los vientos en su mayoría oscilan entre los 0,3 y 1,5 m/s lo cual corresponde a brisas débiles, con una frecuencia del 90,1 % y también se registran calmas menores al 1%.

#### **4.6.2 Estación Aeropuerto José María Córdova, Rionegro – IDEAM**

Para el periodo anual, se observa una tendencia de vientos proveniente de Noreste (NE), Nor-Noreste (NNE) y del este (E), dirigiéndose hacia el Sureste (SE), Sur-Sureste (SSE) y Oeste (W) respectivamente. Las velocidades de los vientos oscilan en promedio entre los 0,5 y 8,8 m/s, lo cual, en la escala de Beaufort, correspondería a brisas débiles, moderadas, fuertes y vientos fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestra además que, para el periodo anual, los vientos oscilan en su mayoría entre los 0,3 y 1,5 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, con una frecuencia del 43,5%, seguido por viento que oscilan entre los 1,5 y 3 m/s con una frecuencia del 33,8% y vientos entre los 3 y 5,3 m/s con una frecuencia del 17,7% y que corresponden a brisas moderadas.

En el periodo diurno, se observa una tendencia de vientos muy similar a la observada en la rosa de vientos anual, con vientos predominantes desde el Noreste (NE), Nor-Noreste (NNE) y del Este (E), dirigiéndose hacia el Suroeste (SW), Sur-Suroeste (SSW) y Oeste (W) respectivamente. También se observan velocidades que oscilan en promedio entre los 0,5 y 8,8 m/s, y que, en la escala de Beaufort, corresponderían a brisas débiles, moderadas y fuertes, y vientos fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestra además que para el periodo diurno oscilan en su mayoría entre los 1,5 y 3 m/s con una frecuencia del 32,6%, seguido de vientos que oscilan entre

los 3 y 5,3 m/s con una frecuencia del 31,2 %, lo cual en la escala de Beaufort, corresponde a brisas débiles.

Para el periodo nocturno, se observan vientos provenientes de Noreste (NE) y Nor-Noreste (NNE), y que se dirigen hacia el Suroeste (SW) y el Sur-Suroeste (SSW) respectivamente. Las velocidades observadas en los periodos nocturnos, oscilan entre los 0,5 y 5,7 m/s, lo que corresponde a brisas moderadas, débiles y fuertes. La frecuencia de clase muestra además que los vientos en su mayoría oscilan entre los 0,3 y 1,5 m/s con una frecuencia del 60,8% y que corresponde a brisas débiles, seguida por vientos que oscilan entre los 1,5 y 3 m/s con una frecuencia del 35,8% correspondiente a brisas moderadas.

#### **4.6.3 Estación La Selva, Rionegro – IDEAM**

En general, los vientos en esta estación para el periodo anual, provienen del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Nor-Noroeste (NNW) y hacia el Oeste (W) respectivamente. En magnitud, estos oscilan entre los 0,5 y 5,5 m/s lo cual corresponde a brisas débiles, moderadas y fuertes según la escala de Beaufort. La frecuencia de distribución de vientos muestra que el 67,2% de las veces los vientos oscilaron entre los 0,3 y 1,5 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, seguido de vientos entre 1,5 y 3 m/s con una frecuencia de 23,8% y que corresponde a brisas moderadas.

Para el periodo diurno, se observa una tendencia de vientos similar a la del periodo anual, con vientos provenientes del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE), y que se dirigen hacia el Nor-Noroeste (NNW) y hacia el Oeste (W) respectivamente. En este periodo, los vientos oscilan entre los 0,5 y 5,5 m/s lo cual corresponde a brisas débiles, moderadas y fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestra que, durante el día, los vientos oscilan predominantemente entre los 0,3 y 1,5 m/s con una frecuencia del 53,3%, lo cual corresponde a brisas débiles, seguido de vientos que oscilan entre los 1,5 y 3 m/s con una frecuencia del 39,5% que corresponden a brisas moderadas.

Para el periodo nocturno, se observa una tendencia de vientos predominantemente del Noroeste (NW), Nor-Noroeste (NNW) y del Oeste (NWW) dirigiéndose hacia el Sureste (SE), Sur-Sureste

(SSE) y el Este (E) respectivamente. La velocidad del viento oscila entre los 0,5 y 3,6 m/s lo cual corresponde a brisas débiles y moderadas. La frecuencia de distribución de vientos muestras además que los vientos durante la noche oscilan predominantemente entre los 0,3 y 1,5 m/s con una frecuencia del 84,1%, y que corresponden a brisas débiles, seguido por las calmas con una frecuencia del 10,6%.

#### **4.6.4 Estación Santuario, El Santuario – IDEAM**

En general, para el periodo anual, se muestra que los vientos vienen predominantemente del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Oeste (W) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. La velocidad de los vientos oscilan entre los 0,5 y 8,8 m/s lo cual correspondería a brisas débiles, brisas moderadas, brisas fuertes y vientos fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestras que el 48,6% del tiempo, los vientos oscilaron entre los 0,3 y 1,5 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, seguido por vientos que oscilaron entre los 1,5 y 3,0 m/s con una frecuencia del 27,4%. También se registraron velocidades mayores con magnitudes que oscilaban entre los 3,0 y 5,3 m/s con una frecuencia del 16,1% y que corresponde a vientos moderados.

Para el periodo diurno, se muestra una tendencia de vientos similar a la mostrada para el periodo anual, con vientos que provienen del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Oeste (W) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. La magnitud de estos, también oscilan entre los 0,5 y 8,8 m/s, lo cual correspondería a brisas débiles, brisas moderadas, brisas fuertes y vientos fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestras que, para el periodo diurno, los vientos suelen oscilar entre los 0,3 y 1,5 m/s, 1,5 y 3 m/s, y 3,0 y 5,3 m/s con frecuencias de 33,6%, 30% y 27,8% respectivamente, y los vientos fuertes tienen una frecuencia de apenas el 0,1%.

En cuanto al periodo nocturno, se muestra que, los vientos provienen predominantemente del Norte (N), Noreste (NE) y del este (E) dirigiéndose hacia el Sur (S), Suroeste (SW) y Oeste (W) respectivamente. La velocidad durante la noche oscila en promedio entre los 0,5 y 5,7 m/s, lo cual en la escala de Beaufort corresponde a brisas débiles, brisas moderadas y brisas fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestras que, para el periodo nocturno, los vientos oscilan

predominantemente entre los 0,3 y 3,5 m/s con una frecuencia de vientos del 64,3%, lo cual corresponde a brisas débiles seguido por vientos que oscilan entre los 3 y 5,3 m/s con una frecuencia del 25,4% correspondiente a brisas fuertes.

#### **4.6.5 Estación Rionegro (Valles de San Nicolás-Sede), Rionegro – SIATA**

Para el periodo anual, se observa una tendencia de vientos provenientes predominantemente del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Oeste (W) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. Las velocidades promedio del viento se encuentran entre los 0,5 y 8,8 m/s lo cual corresponde a brisas débiles, brisas moderadas, brisas fuertes, y vientos fuertes. La frecuencia de distribución de vientos muestra que el 48% del tiempo los vientos oscilaron entre los 0,3 y 1,5 m/s, seguidos por vientos que oscilaron entre 1,5 y 3,0 m/s, y los 3,0 y 5,3 m/s con frecuencia del 26,5% y el 17,5% respectivamente, lo cual corresponde a brisas moderadas y fuertes.

En cuanto al periodo diurno, se observa que los vientos provienen predominantemente del Este (E) y del Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Oeste (W) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. Se tiene entonces la misma tendencia que el visto en el periodo anual con velocidades que oscilan entre los 0,5 y 8,8 m/s. Por su parte, la frecuencia de distribución de vientos muestra que los vientos pueden oscilar entre los 0,3 y 1,5 m/s, 1,5 y 3,0 m/s, y 3,0 y 5,3 m/s con frecuencias similares del 30% para cada intervalo, lo cual corresponde a brisas débiles, moderadas y fuertes.

Por el contrario, el periodo nocturno, muestra una tendencia de vientos provenientes del Norte (N), Noreste (NE) y del Este (E), dirigiéndose hacia el Sur (S), Suroeste (SW) y Oeste (W) respectivamente. Las velocidades en la noche tienen una magnitud menor que durante el día, las cuales oscilan entre los 0,5 y 5,7 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, brisas moderadas y brisas fuertes. Por su parte, la frecuencia de distribución de vientos muestra que, para el periodo nocturno, los vientos oscilan predominantemente entre los 0,3 y 1,5 m/s con una frecuencia del 62,8% seguido por vientos que oscilan entre los 1,5 y 3,0 m/s con una frecuencia del 27,3%, lo cual corresponde a brisas débiles y brisas moderadas respectivamente.

#### **4.6.6 Estación Universidad Católica de Oriente (UCO) – CORNARE**

La rosa de vientos del periodo anual en esta estación muestra una tendencia de vientos provenientes predominantemente del Noreste (NE) y del Sureste (SE) dirigiéndose hacia el Suroeste (SW) y Noroeste y (NW) respectivamente. Se observa que las velocidades de viento en esta estación son relativamente pequeñas comparadas con las velocidades de viento en otras estaciones para periodos anuales, con magnitudes que oscilan desde los 0,5 y 5,7 m/s lo cual en la escala de Beaufort corresponde a brisas débiles, moderadas y fuertes. Por su parte, la frecuencia de distribución de vientos muestra que para el periodo anual predominan las calmas con una frecuencia del 43,2%, seguido por vientos que oscilan entre los 0,3 y 1,5 m/s con una frecuencia del 33,8% y luego por vientos que oscilan entre los 1,5 y 5,3 m/s con una frecuencia del 18,7% correspondiente a brisas fuertes.

El periodo diurno muestra una tendencia similar a la mostrada en el periodo anual, con vientos provenientes predominantemente del Noreste (NE) y del Sureste y (SE) dirigiéndose hacia el Suroeste (SW) y Noroeste y (NW) respectivamente. Se observa que las velocidades en el periodo diurno oscilan entre los 0,5 y 5,7 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, moderadas y fuertes.

En cuanto al periodo nocturno, se muestra una tendencia de vientos provenientes predominantemente del Noreste (NE), Nor-Noreste (NNE), Sureste (SE) y Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Suroeste (SW), Sur-Suroeste (SSW), Noroeste (NW) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. Se observa que los vientos en la noche pueden llegar alcanzar velocidades máximas que oscilan entre los 3,6 y 5,7 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles, y velocidades mínimas de 0,5 a 1,5 m/s, lo cual correspondería a brisas débiles.

#### **4.6.7 Estación San Antonio de Pereira – CORNARE**

Para el periodo anual, se muestra que los vientos vienen predominantemente del Este (E) dirigiéndose hacia el Oeste (O), con velocidades que oscilan entre los 0,5 y los 3,6 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles y moderadas según la escala de Beaufort. Es de resaltar que las velocidades para el periodo anual en esta estación, son los más bajos registrados alcanzando calmas de hasta el 60%.

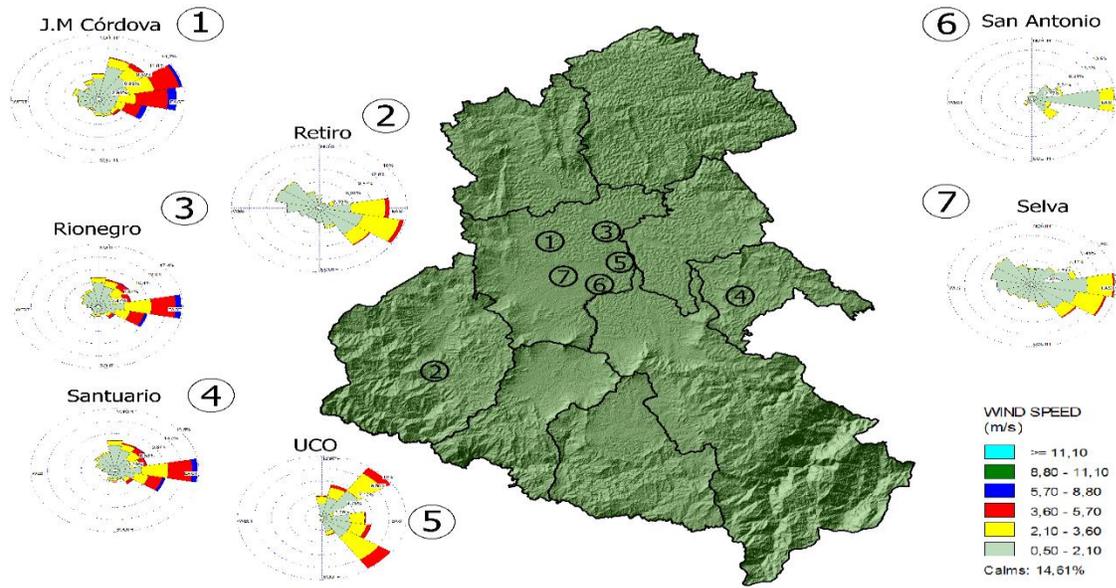
El periodo diurno en esta estación, muestra la misma tendencia que los mostrados en el periodo anual, con vientos provenientes predominantemente del Este (E) dirigiéndose hacia el Oeste (O), con velocidades que oscilan entre los 0,5 y los 3,6 m/s, lo cual corresponde a brisas débiles y moderadas.

En cuanto al periodo nocturno, se observa que los vientos provienen predominantemente del Nor-Noreste y del Este (NNE y E) dirigiéndose hacia el Sur-Suroeste y Oeste (SSW y W) respectivamente. Las velocidades máximas que se pueden alcanzar en el periodo nocturno pueden oscilar entre los 2,1 y 3,6 m/s lo cual corresponde a brisas moderadas, pero predominan más las calmas en este periodo, siendo hasta del 89% en este periodo.

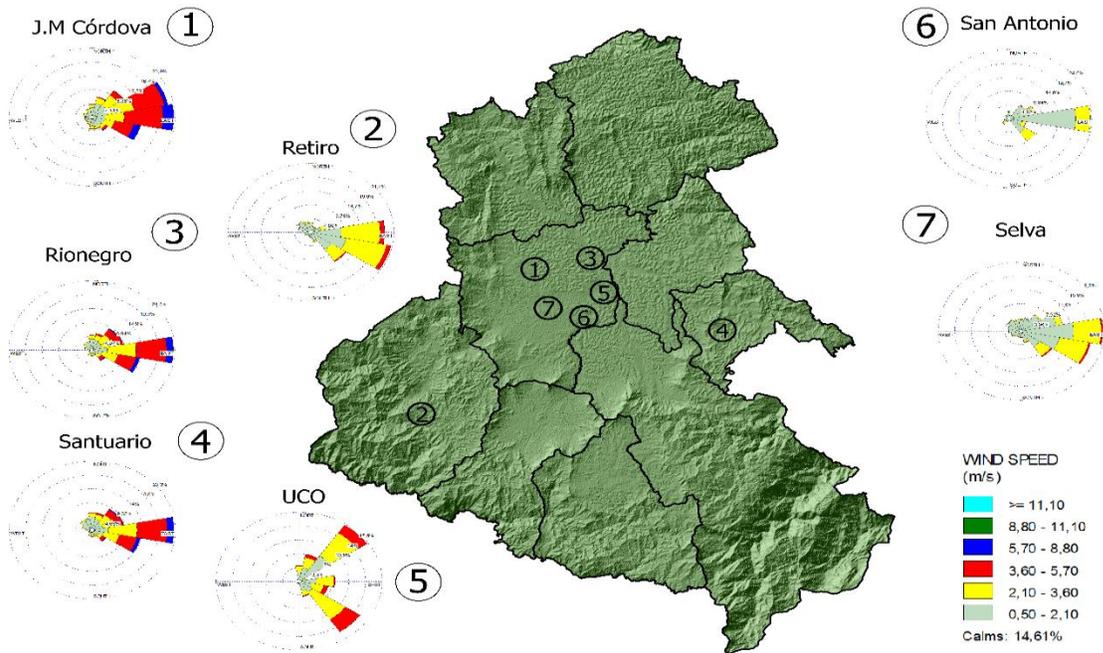
Según las tendencias encontradas en todas las estaciones, se observa que durante el día los vientos provienen en su mayoría del Noreste (NE), Nor-Noreste (NNE), Este (E), Sureste (SE) y Sur-Sureste (SSE) dirigiéndose hacia el Sureste (SE), Sur-Sureste (SSE), Oeste (W), Noroeste (NW) y Nor-Noroeste (NNW) respectivamente. Las velocidades pueden oscilar entre los 0,5 y 8,8 m/s lo cual en la escala de Beaufort correspondería a brisas débiles, brisas moderadas, brisas fuertes y vientos fuertes. En cuanto a los periodos nocturnos, estos no exhiben un comportamiento predictivo como sí lo hacen los periodos diurnos, ya que en la noche el viento puede provenir desde distintas direcciones (dependiendo de la estación) y se observa que en todas, el porcentaje de calmas se incrementa notoriamente en este periodo.

### ***Figura 15***

*Rosas de viento Totales para las distintas estaciones.*



**Figura 16**  
Rosas de viento Diurnas para las distintas estaciones.



**Figura 17**

Rosas de viento Nocturnas para las diferentes estaciones.

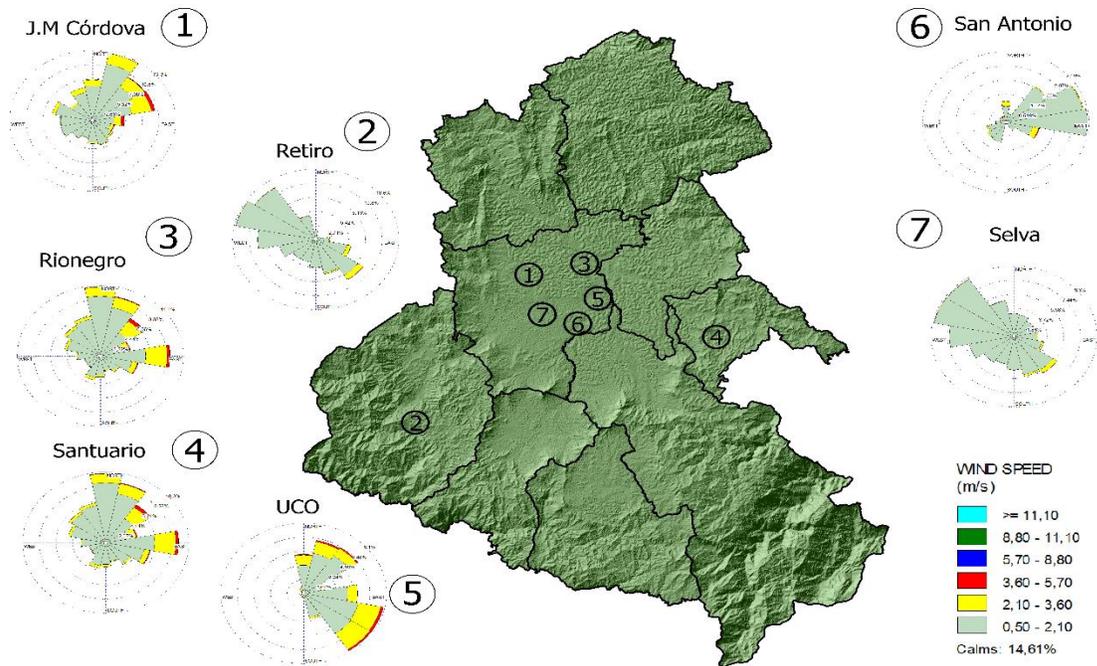
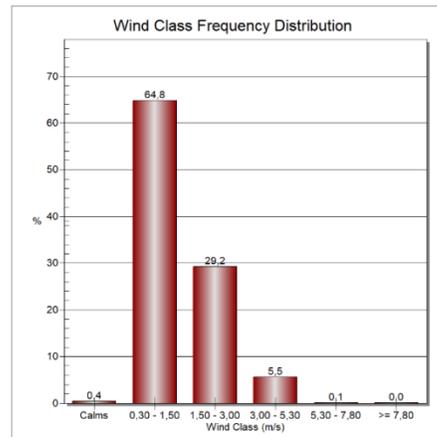
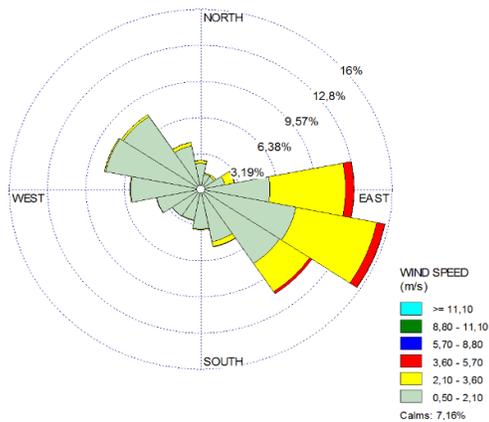


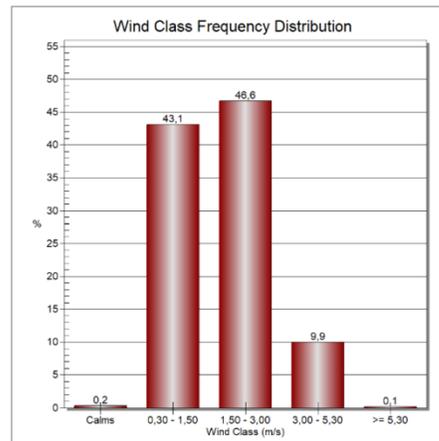
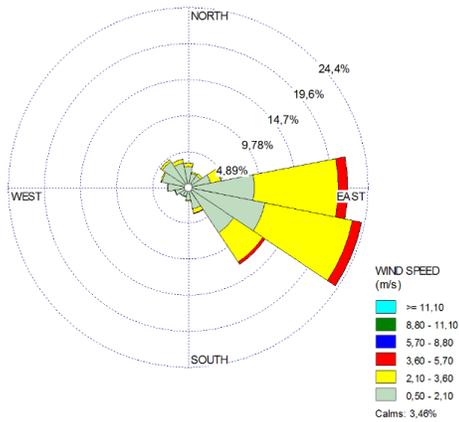
Figura 18

Rosas de viento y distribución de frecuencia de vientos de las estaciones de interés.

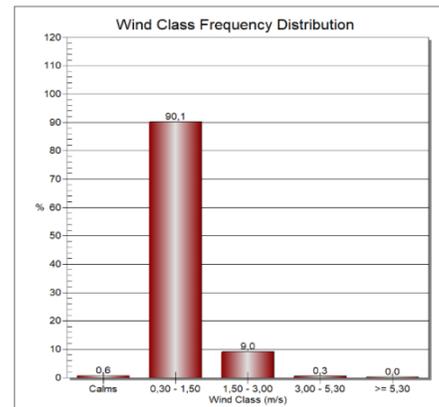
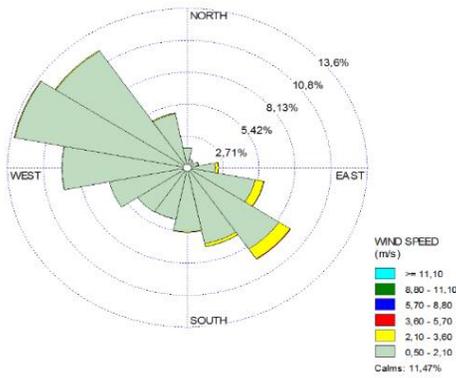
**Estación Retiro – IDEAM  
Rosa de Viento Anual (Total)**



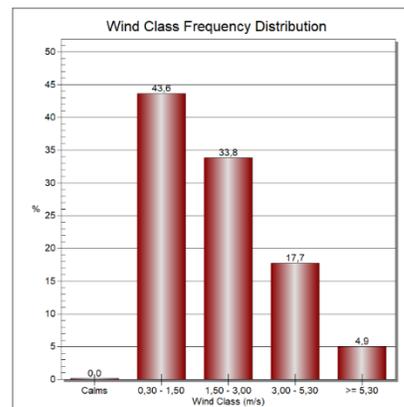
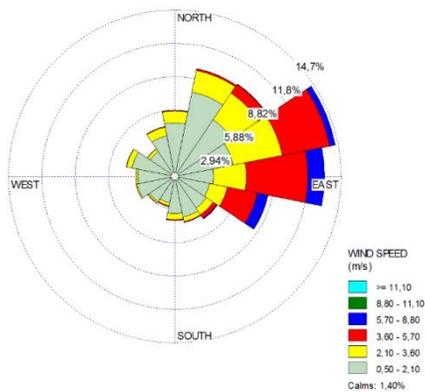
**Rosa de Viento Diurna**



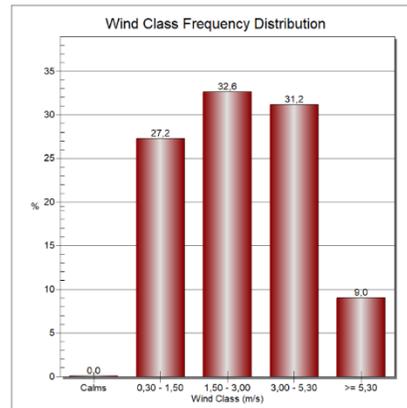
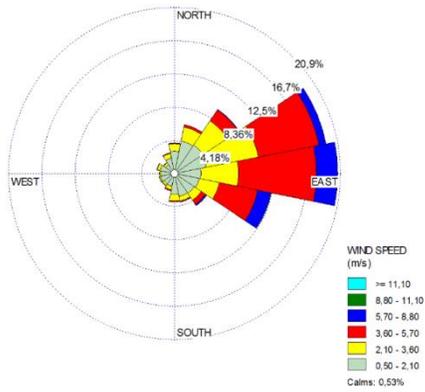
**Rosa de Viento Nocturna**



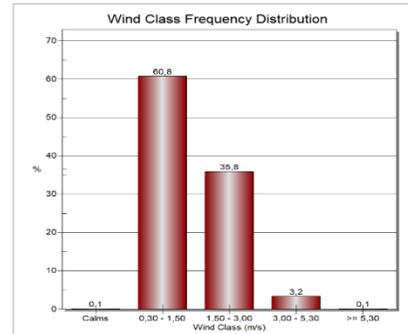
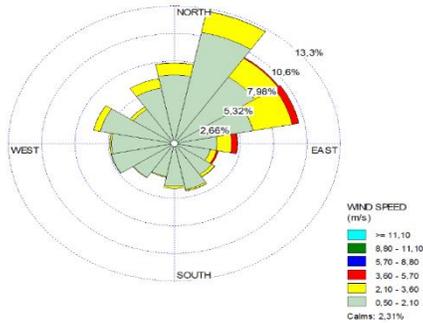
**Estación J. M. Córdova - IDEAM  
Rosa de Viento Anual (Total)**



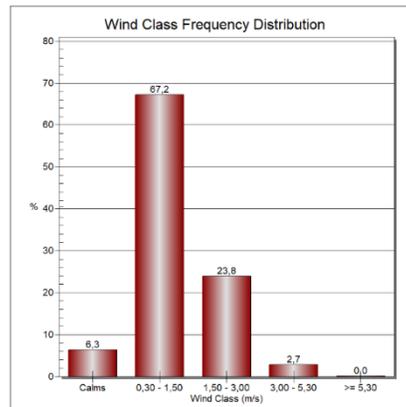
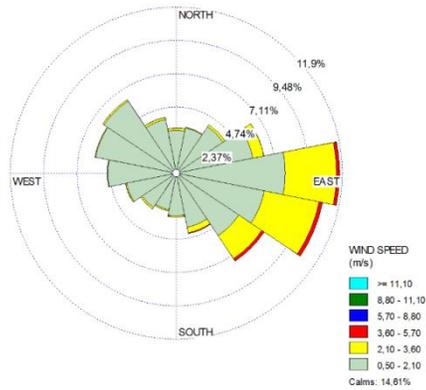
**Rosa de Viento Diurna**



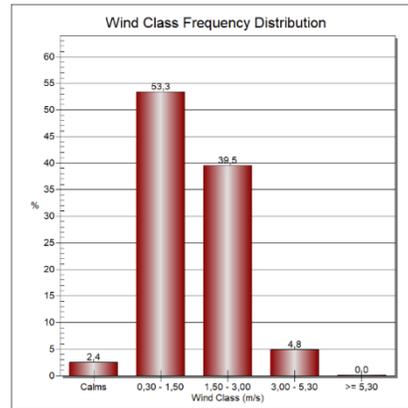
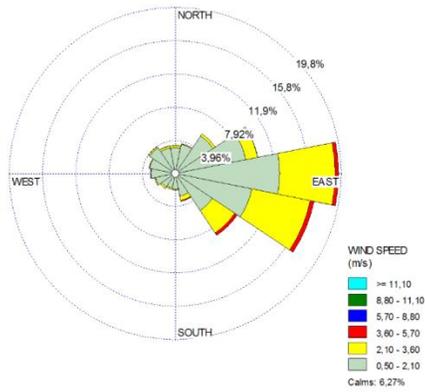
### Rosa de Viento Nocturna



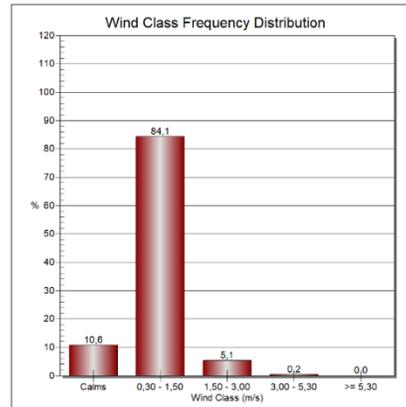
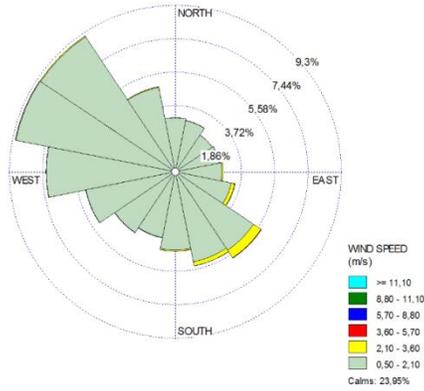
### Estación La Selva – IDEAM Rosa de Viento Anual (Total)



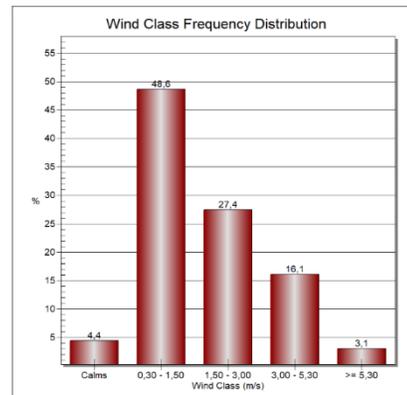
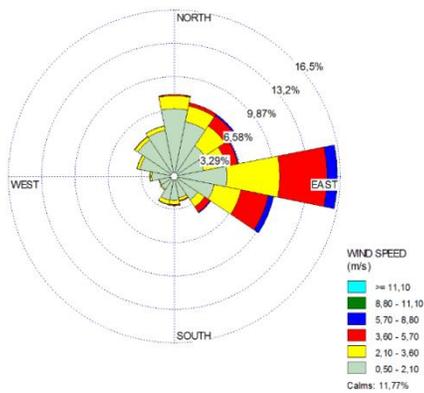
### Rosa de Viento Diurna



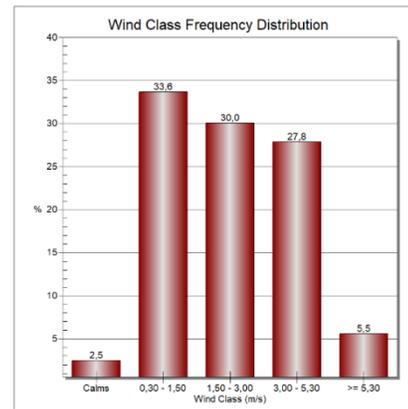
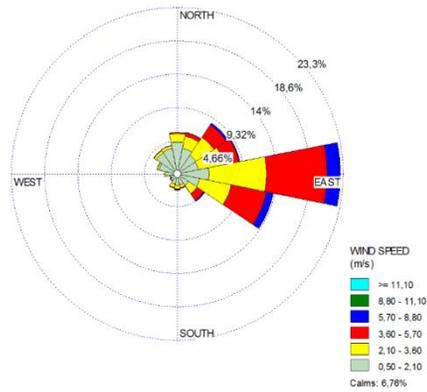
**Rosa de Viento Nocturna**



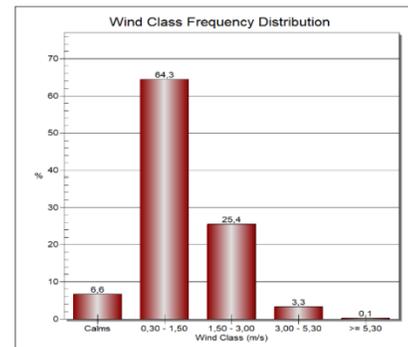
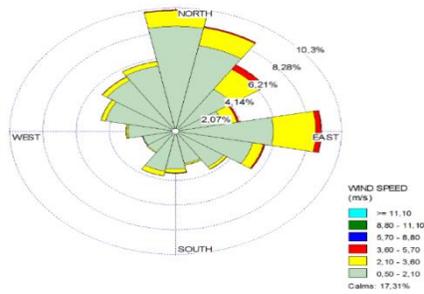
**Estación Santuario - IDEAM  
Rosa de Viento Anual (Total)**



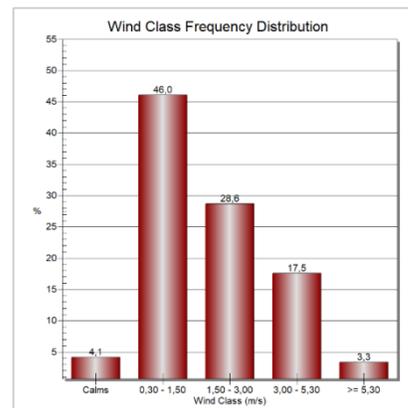
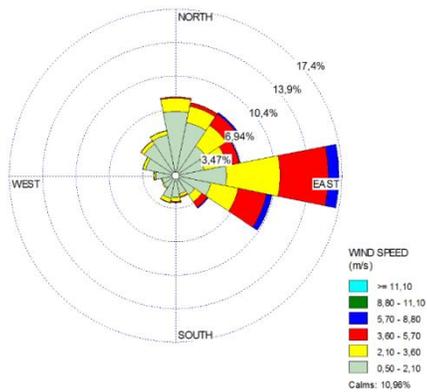
**Rosa de Viento Diurna**



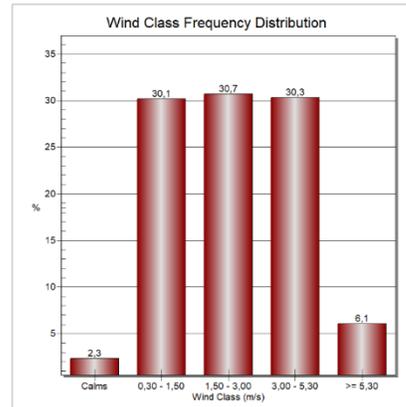
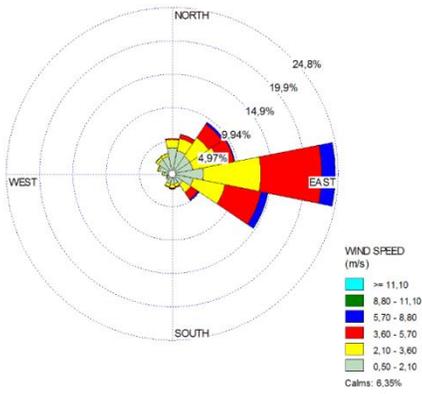
**Rosa de Viento Nocturna**



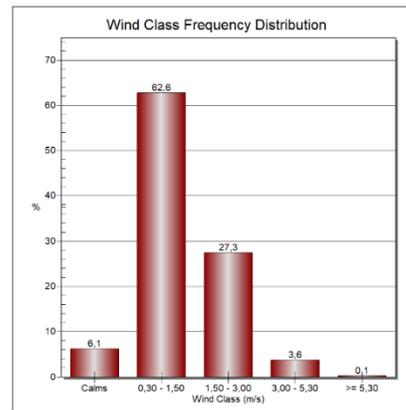
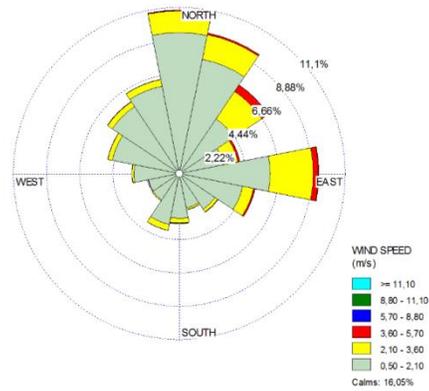
**Estación Rionegro - SIATA  
Rosa de Viento Anual (Total)**



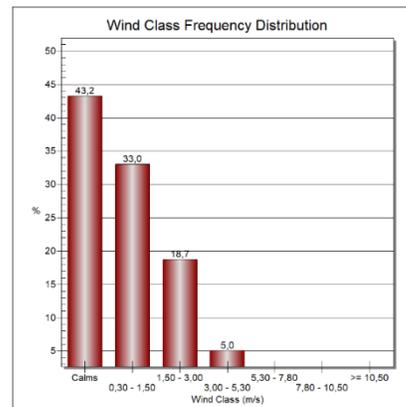
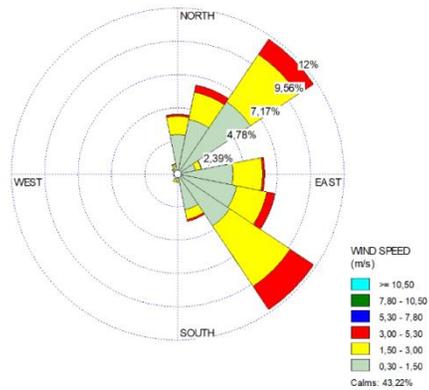
**Rosa de Viento Diurna**



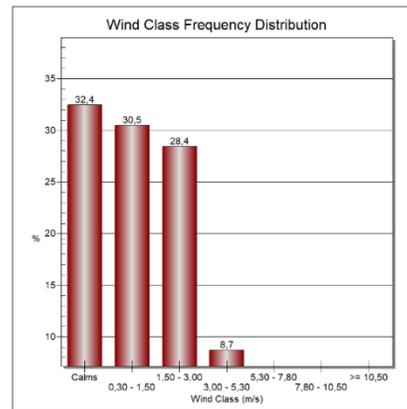
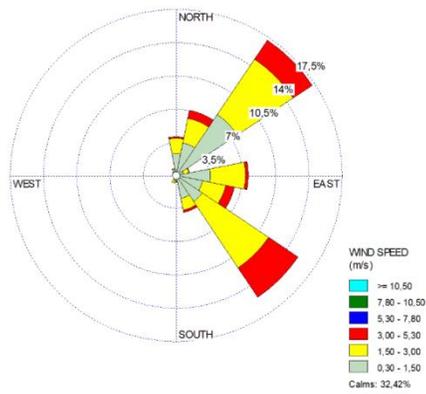
### Rosa de Viento Nocturna



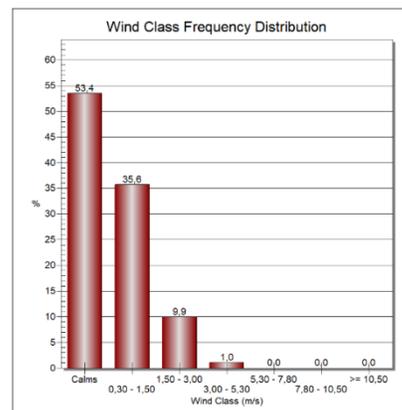
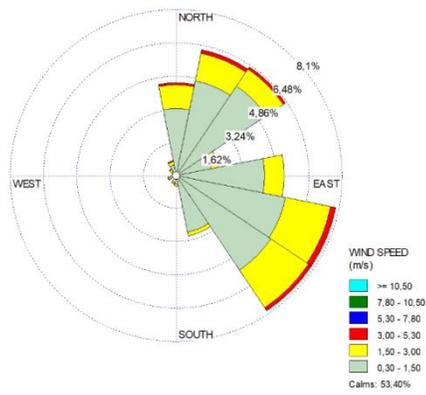
### Estación Universidad Católica de Oriente (UCO) - CORNARE Rosa de Viento Anual (Total)



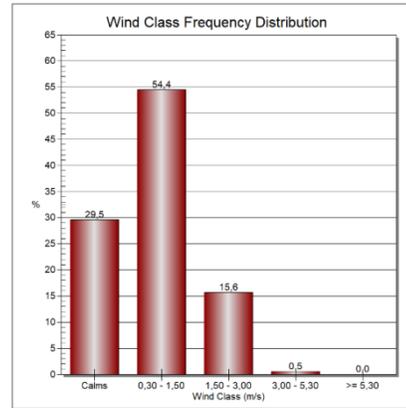
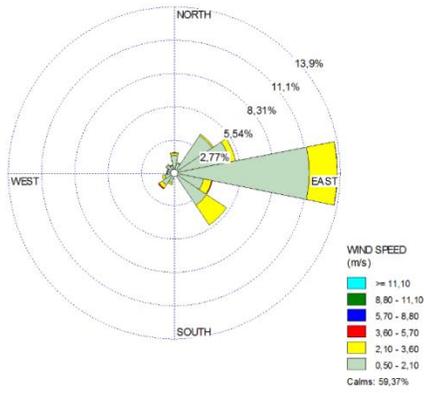
### Rosa de Viento Diurna



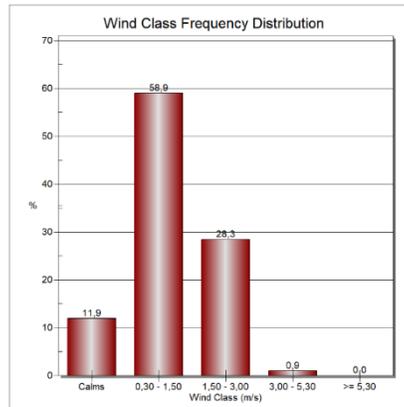
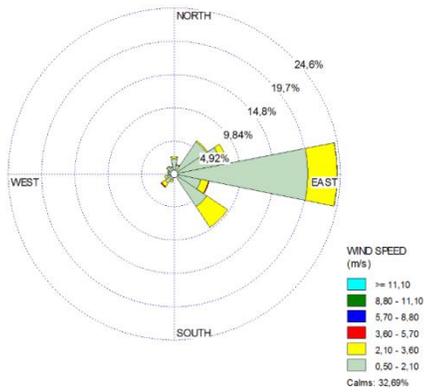
*Rosa de Viento Nocturna*



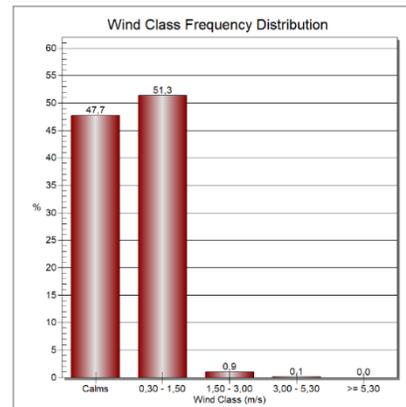
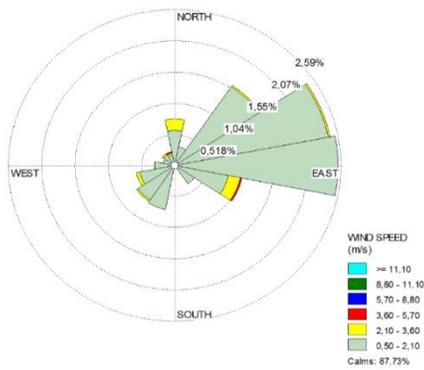
**Estación San Antonio de Pereira - CORNARE**  
**Rosa de Viento Anual (Total)**



**Rosa de Viento Diurna**



**Rosa de Viento Nocturna**



## 5 Conclusiones

Para el periodo de estudio (2020-2021), las estaciones que contaron con mayor disponibilidad de información meteorológica, fueron las pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, y la perteneciente al Sistema de Alerta Temprana de Valle de Aburrá SIATA. Sin embargo, al momento de descargar información meteorológica de las estaciones del IDEAM, se pudo evidenciar que, a pesar de la buena disponibilidad de datos de algunas de las variables descargadas, otras de interés para el presente análisis no se encontraban disponibles como fue el caso de la presión atmosférica y la temperatura horaria, lo cual se debe a que las observaciones se hacen de acuerdo a los propósitos y el tipo de instrumental de cada estación. En cuanto a las estaciones pertenecientes al Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de CORNARE, se pudo evidenciar que estas contaban con poca disponibilidad de información (menor al 50%) para el periodo de estudio.

Las velocidades del viento son máximas en el periodo diurno (6:00-18:00) entre las 14:00 y 15:00 horas y las velocidades mínimas se registran durante el periodo nocturno (18:00-6:00), entre las 4:00 y las 6:00 horas. En el Valle de San Nicolás. Las velocidades oscilan en promedio durante el día entre los 1,2 y 4,5 m/s, siendo la estación aeropuerto, José María Córdova de Rionegro la que registra las mayores velocidades en promedio (4,5 m/s). Las velocidades más bajas oscilan entre los 0,1 y 1,3 m/s durante la noche, siendo la estación UCO (Universidad Católica de Oriente) la que registra las velocidades promedio más bajas durante la noche (0,1 m/s).

Las direcciones de los vientos para el periodo anual, vienen predominantemente del Este (E) dirigiéndose hacia el Oeste (W) como se muestra en la distribución de vientos para cada una de las estaciones de interés. Esta misma tendencia se observa durante el periodo diurno, en donde se observa que los vientos vienen predominantemente del Este (E) y se dirigen hacia el Oeste (W). Ya para el periodo nocturno se encuentra que la distribución de los vientos es más diversa en todas las estaciones, esto es, no se encuentra una tendencia como en el periodo anual y diurno.

Las temperaturas en el Valle de San Nicolás oscilan entre los 13 y 24°C. Durante el periodo diurno (6:00-18:00), se alcanzan las temperaturas máximas entre las 14:00 y las 15 horas, con valores que oscilan entre los 18 y 24°C y las temperaturas mínimas se presentan durante el periodo nocturno (18:00-6:00) entre las 4:00 y las 6:00 horas con valores que oscilan entre los 13 y 15°C.

El promedio de temperaturas anuales muestra que las mayores temperaturas se registran en el municipio de San Antonio de Pereira, con un promedio de de 18,5 °C, y las más bajas se registraron en el municipio de Guarne, con un promedio de de 15,6 °C. La diferencia de temperaturas de un lugar y otro puede ser explicado por la diferencia de altura, ya que el municipio de Guarne se encuentra a una mayor altura sobre el nivel del mar con respecto al municipio de San Antonio de Pereira. De lo anterior, se encuentra entonces que en el Valle de San Nicolás, la temperatura podría variar 1,4 °C por cada 84 metros de aumento en la altura sobre el nivel del mar (diferencia de altura entre Guarne y San Antonio de Pereira).

En cuanto a la humedad relativa y a la temperatura, se observa que la humedad disminuye durante el periodo diurno (6:00-18:00) alcanzando sus valores más bajos entre las 15:00 y 16:00 horas, momento en el cual la temperatura registra sus valores más altos. Así mismo, la humedad relativa alcanza sus valores más altos en el periodo nocturno (18:00-6:00) entre las 4:00 y 6:00 horas, momento en el cual la temperatura es más baja. La humedad relativa en el Valle de San Nicolás puede llegar hasta el 100% durante el periodo nocturno y disminuir durante el día a valores que oscilan entre el 30 y 40%.

Las precipitaciones en el Valle de San Nicolás se distribuyen en su mayoría durante el periodo nocturno (18:00-6:00), concentrando allí valores por encima del 55% de las mismas y en donde se evidencia que los mayores picos de precipitación se presentan entre las 22:00 y las 4:00 horas. Ya durante el periodo diurno (6:00-18:00), las precipitaciones tienden a disminuir, exhibiendo los picos más bajos entre las 10:00 y las 12:00 horas.

La temperatura y la presión atmosférica presenta un comportamiento inverso, esto es, cuando la temperatura disminuye, la presión atmosférica aumenta. Se observa que los máximos valores de presión atmosférica se registran durante el periodo diurno (cuando la temperatura es mínima), y los mínimos valores se presentan durante el periodo diurno (6:00-18:00) entre las 14:00 y 15:00 horas (cuando la temperatura es máxima). Los valores de presión atmosférica en el Valle de San Nicolás oscilan entre los 580 hPa (valor mínimo estación San Antonio) y los 890 hPa (valor máximo estación Hospital). Es de resaltar que la estación San Antonio registra las mayores temperaturas medias anuales con 18,5°C y la estación Hospital-Guarne, registra las menores temperaturas medias anuales con 15,6 °C, lo cual se ve reflejado en los valores de presión atmosférica.

Según las velocidades promedio del viento registradas en las estaciones presentes en el Valle de San Nicolás, se podría decir que a pesar de ser una región plana, esta no se encuentra bien ventilada, por lo que es una región susceptible a episodios de contaminación atmosférica generada por actividades antrópicas.

Por la forma en la que se distribuye la precipitación en el Valle de San Nicolás, se puede concluir que en la noche se presentan las mejores condiciones para el lavado de contaminantes que puedan estar presentes en la atmósfera

No se presentan valores anómalos para ninguna de las variables ambientales analizadas para el periodo 2020-2021, esto es, todas se encontraban dentro de un rango normal de valores.

## 6 Referencias

- Atmosfera.cl. (s.f.). ¿Qué es la meteorología? *Atmósfera.cl*.  
<http://www.atmosfera.cl/HTML/meteorologia/meteorologia.htm>
- Bedoya, J. F. (2020). TRANSFORMACIÓN TERRITORIAL EN EL VALLE DE SAN NICOLÁS - ORIENTE ANTIOQUEÑO: AUTONOMÍA, ESTADO Y RURALIDAD SIN CAMPESINOS. *Universidad de Antioquia*, 148. <https://docplayer.es/210052975-Transformacion-territorial-en-el-valle-de-san-nicolas-oriente-antioqueno-autonomia-estado-y-ruralidad-sin-campesinos-jose-fernando-oro-zco-bedoya.html>
- DNP. (s.f.). Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones. *Departamento Nacional de Planeación*.  
[https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones.aspx#:~:text=Dentro%20de%20estos%20costos%2C%20la,Nacional%20de%20Planeaci%C3%B3n%20\(DNP\)](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones.aspx#:~:text=Dentro%20de%20estos%20costos%2C%20la,Nacional%20de%20Planeaci%C3%B3n%20(DNP))
- IDEAM. (s.f.). Aplicaciones meteorológicas. *IDEAM*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/aplicaciones-meteorologicas>
- IDEAM. (s.f.). Catálogo Nacional de Estaciones. *Gov.co*.  
<https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Catalogo-Estaciones-IDEAM/n6vw-vkfe>
- IDEAM. (s.f.). Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. *IDEAM*.
- IDEAM. (s.f.). Contaminación Atmosférica. *IDEAM*. *IDEAM*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- IDEAM. (s.f.). Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937>
- Moreno, C. E. (2020). Influencia de la presión atmosférica y temperatura ambiental en el subsuelo de la microcuenca San Ildefonso Trujillo Perú. *Manglar*.  
*Manglar*.<https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/145/282>



- uque, E. M. (2018). Caracterización de la concentración de contaminantes del aire a partir del estudio de la dinámica atmosférica en el valle de Aburrá. *Universidad nacional de Colombia*, 89. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Biblioteca-aire.aspx>

## 7 Anexos

### 7.1 Glosario de términos

- **Humedad relativa del aire:** Es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura y se expresa en unidades enteras que van de cero (0) hasta el 100% (IDEAM).
- **Velocidad del viento:** Relación entre la distancia recorrida por el aire y el tiempo que tarda en recorrerla. La "velocidad instantánea" o, con mayor brevedad, la "velocidad", corresponde al caso de un intervalo de tiempo infinitamente pequeño. La "velocidad media" corresponde al caso en que el intervalo de tiempo es finito (IDEAM).
- **Dirección del Viento:** Dirección desde la que sopla el viento (IDEAM).
- **Presión Atmosférica:** Presión (fuerza por unidad de área) ejercida por la atmósfera sobre cualquier superficie en virtud de su peso. Equivale al peso de una columna de aire de sección transversal unitaria que se extiende desde un nivel dado hasta el límite superior de la atmósfera (IDEAM).
- **Temperatura del aire:** Temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa.
- **Precipitación:** La precipitación es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube, atraviesan la atmósfera y llegan al suelo. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado (IDEAM).