



“ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO UPME-03-2010, SUBESTACIÓN CHIVOR II – Y NORTE 230 kV Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ASOCIADAS ”

**CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO
CAPÍTULO 3.2 MEDIO ABIÓTICO
3.2.8 ATMÓSFERA
Numeral 3.2.8.1 Clima**

CONSORCIO AMBIENTAL CHIVOR



| | | | | |
|----------------------|-------------------------|---|-------------------|-----------------|
| ESCALA SIN | FORMATO Carta | REFERENCIA EEB 2- EEB-NORTE-AMB-2002-1 | HOJA 01 | REV 1 |
|----------------------|-------------------------|---|-------------------|-----------------|

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|---|
| 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO..... | 6 |
| 3.2. MEDIO ABIÓTICO..... | 6 |
| 3.2.8. Atmósfera..... | 6 |
| 3.2.8.1. Clima..... | 6 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3-1 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis espacial | 9 |
| Tabla 3-2 Período de análisis de las estaciones seleccionadas para establecer la distribución espacial y temporal..... | 12 |
| Tabla 3-3 Periodos con inconsistencias para establecer el análisis espacio temporal | 15 |
| Tabla 3-4 Valores medios mensuales multianuales de precipitación en el sector ubicado en el departamento de Cundinamarca, subzona hidrográfica del río Bogotá | 21 |
| Tabla 3-5 Valores medios mensuales multianuales de precipitación en el sector ubicado en el departamento de Boyacá subzona hidrográfica del río Lengupá y Garagoa. | 23 |
| Tabla 3-6 Temperatura según el gradiente altitudinal | 32 |
| Tabla 3-7 Valores medios mensuales multianuales de Temperatura °C | 32 |
| Tabla 3-8 Valores medios mensuales multianuales de Humedad relativa..... | 44 |
| Tabla 3-9 Direcciones y rangos de velocidad N°. de casos encontrados | 46 |
| Tabla 3-10 Direcciones y rangos de velocidad de viento matriz de porcentaje..... | 47 |
| Tabla 3-11 Direcciones y rangos de velocidad (Número de casos encontrados) | 49 |
| Tabla 3-12 Direcciones y rangos de velocidad (Matriz de porcentajes)..... | 49 |
| Tabla 3-13 Escala utilizada para cifrar la cantidad de nubes (Octas) | 50 |
| Tabla 3-14 Valores de nubosidad modal media mensual multianual (Octas) | 51 |
| Tabla 3-15 Valores medios mensuales multianuales de brillo solar (Horas)..... | 52 |
| Tabla 3-16 Evaporación media mensual multianual (mm/año)..... | 55 |
| Tabla 3-17 Balance hídrico estación Providencia..... | 66 |
| Tabla 3-18 Balance hídrico estación Checua..... | 66 |
| Tabla 3-19 Balance hídrico estación Primavera | 67 |
| Tabla 3-20 Balance hídrico estación La Iberia | 67 |
| Tabla 3-21 Balance hídrico estación Campo Hermoso | 69 |
| Tabla 3-22 Balance hídrico estación Inst | 69 |
| Tabla 3-23 Denominación termal | 71 |
| Tabla 3-24 Denominación de humedad | 76 |
| Tabla 3-25 Clasificación del clima..... | 82 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3-1 Esquema de la circulación general de la atmósfera en los trópicos | 7 |
| Figura 3-2 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis espacial | 11 |
| Figura 3-3 Análisis de Consistencia de datos | 14 |
| Figura 3-4 Análisis de Homogeneidad estaciones ubicadas en el departamento de Cundinamarca, Subzona hidrográfica río Bogotá..... | 17 |
| Figura 3-5 Análisis de Homogeneidad estaciones ubicadas en el departamento de Boyacá, Subzona hidrográfica río Lengupá y Garagoa..... | 18 |
| Figura 3-6 Representación de las lluvias Orográficas a Barlovento y a Sotavento en el área de estudio | 21 |
| Figura 3-7 Distribución temporal de la precipitación departamento de Cundinamarca, Subzona hidrográfica río Bogotá..... | 24 |
| Figura 3-8 Distribución temporal de la precipitación departamento de Boyacá, Subzona hidrográfica río Lengupá y Garagoa..... | 25 |
| Figura 3-9 Distribución espacial de la precipitación (1-3) | 27 |
| Figura 3-10 Distribución espacial de la precipitación (4-5) | 28 |
| Figura 3-11 Distribución espacial de la precipitación (6-7) | 29 |
| Figura 3-12 Distribución espacial de la precipitación (8-9) | 30 |
| Figura 3-13 Regresión lineal Temperatura vs Altura | 31 |
| Figura 3-14 Distribución temporal de la temperatura en el área de estudio..... | 35 |
| Figura 3-15 Rangos altitudinales del trazado | 36 |
| Figura 3-16 Distribución espacial de las Temperaturas en el área de estudio..... | 37 |
| Figura 3-17 Rangos de temperatura en el área de influencia del proyecto (1-3) | 38 |
| Figura 3-18 Rangos de temperatura en el área de influencia del proyecto (4-5) | 39 |
| Figura 3-19 Distribución espacial de la Temperatura en el área de estudio | 40 |
| Figura 3-20 Distribución espacial de la Temperatura en el área de estudio | 41 |
| Figura 3-21 Distribución temporal de la humedad relativa en el área de estudio..... | 43 |
| Figura 3-22 Rosa de los vientos estación Tibaitata..... | 45 |
| Figura 3-23 Frecuencia de los vientos Tibaitata..... | 46 |
| Figura 3-24 Rosa de los vientos estación Arg Macanal..... | 48 |
| Figura 3-25 Frecuencia de los vientos estación Arg Macanal | 48 |
| Figura 3-26 Representación de la Nubosidad | 51 |
| Figura 3-27 Distribución temporal del brillo solar en el area de estudio | 54 |
| Figura 3-28 Evaporación solar en el área de estudio | 57 |
| Figura 3-29 Presión atmosférica | 59 |
| Figura 3-30 Presión atmosférica (1-3)..... | 61 |
| Figura 3-31 Presión atmosférica (4-5)..... | 62 |
| Figura 3-32 Presión atmosférica (6-7)..... | 63 |
| Figura 3-33 Presión atmosférica (8-9)..... | 64 |
| Figura 3-34 Balance hídrico (mm/mes) sector departamento de Cundinamarca cuenca del río Bogotá | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 3-35 Balance hídrico (mm/mes) sector departamento de Boyacá cuenca del río Lengupá y Garagoa..... | 70 |
| Figura 3-36 Clasificación termal (1-3) | 72 |
| Figura 3-37 Clasificación termal (4-5) | 73 |
| Figura 3-38 Clasificación termal (6-7) | 74 |
| Figura 3-39 Clasificación termal..... | 75 |
| Figura 3-40 Rangos de humedad..... | 77 |
| Figura 3-41 Rangos de Humedad (1-3) | 78 |
| Figura 3-42 Rangos de Humedad (4-5) | 79 |
| Figura 3-43 Rangos de Humedad (6-7) | 80 |
| Figura 3-44 Rangos de Humedad (8-9) | 81 |
| Figura 3-45 Zonificación climática..... | 83 |
| Figura 3-46 Zonificación climática (1-3) | 84 |
| Figura 3-47 Zonificación climática (4-5) | 85 |
| Figura 3-48 Zonificación climática (6-7) | 86 |
| Figura 3-49 Zonificación climática (8-9) | 87 |

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

3.2. MEDIO ABIÓTICO

3.2.8. Atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea a la tierra. El fluido que forma la atmósfera de la tierra es el aire, el cual está constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

En razón de lo anterior y con el fin de conocer las características de la atmósfera en el área de estudio, a continuación se describen las características climáticas, la calidad del aire y los niveles de presión sonora presentes en la zona de estudio.

3.2.8.1. Clima

De acuerdo con la definición de la Organización Meteorológica Mundial - OMM, clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por las evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, el cual está controlado por los denominados factores forzantes determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrósfera, litósfera, criósfera, biósfera y antroposfera)¹.

Desde el punto de vista físico-biótico, el clima es importante por su directa intervención en la evolución de los suelos, el paisaje, las amenazas naturales y socioeconómicas y por su influencia en la decisión de utilización de las tierras para diferentes usos².

Los siguientes son los fenómenos generales que influyen en la variación espacial y temporal del clima en Colombia.

➤ Vientos alisios

Los vientos Alisios soplan en casi todas las regiones tropicales que se extienden entre los cinturones de altas presiones subtropicales y las bajas presiones ecuatoriales. En el hemisferio norte, el aire que se dirige hacia el Ecuador es desviado hacia la derecha por la fuerza de Coriolis y forma los Alisios del noreste.

¹ OMM, UNESCO. (2005). *Evaluación de los recursos hídricos, Elaboración del Balance Hídrico Integrado por cuencas hidrográficas*. México: UNESCO.

² Miller, F. (1964). *Climatología*. Barcelona.

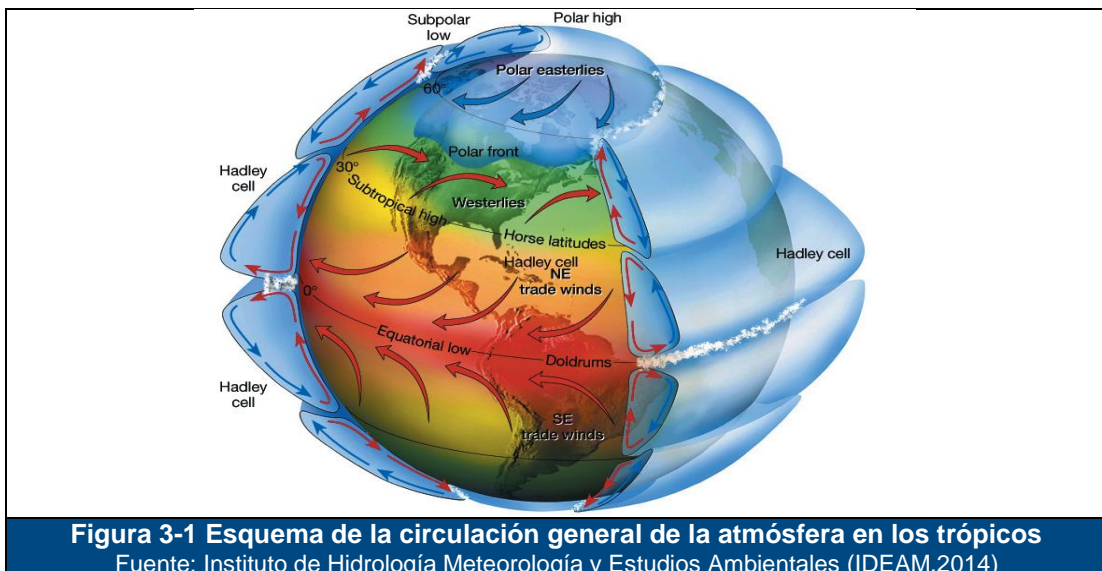
De la misma manera, en el hemisferio sur, la desviación hacia la izquierda origina los Alisios del sureste (ver **Figura 3-1**).

Cuando el aire se acerca al Ecuador, los vientos Alisios del noreste y sureste convergen sobre una estrecha zona a lo largo de él, denominada Zona de Confluencia Intertropical; en ella la inversión se debilita y el aire se eleva, el desarrollo vertical de las nubes aumenta y la inestabilidad se extiende a mayores altitudes. Las precipitaciones se hacen más fuertes y más frecuentes.

➤ **Zona de confluencia intertropical**

La Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), es una zona de la atmósfera en la que confluyen dos masas de aire con baja presión relativa. La diferencia entre los núcleos de alta presión y la ZCIT, da origen a movimientos horizontales del aire desde los trópicos hasta el ecuador. El curso anual de la ZCIT sigue el movimiento aparente del sol.

A principios de cada año la ZCIT se localiza hacia el sur del país. En esta área se presentan condiciones de elevada pluviosidad, exceptuando la Amazonía. En Colombia la ZCIT fluctúa aproximadamente entre los cero grados de latitud, posición en la que se encuentra en enero y febrero, y los 10 grados de latitud norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio – agosto. El desplazamiento origina que se presente en el año un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y de los demás parámetros meteorológicos³.



³ IDEAM. (2005). *Atlas Climatológico para Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

➤ Ciclos Enos (Niño y Niña)

De acuerdo con el IDEAM, el ciclo conocido como "El Niño" y su fase opuesta "La Niña" son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. Son las componentes oceánicas del ENOS (Oscilación del Sur) que corresponde a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia.

➤ Procesamiento de la información meteorológica

✓ Selección de las estaciones

La selección de las estaciones obedece principalmente a la relación del entorno fisiográfico e hidrográfico, proximidad respecto al área de estudio y disponibilidad de datos del operador. Los registros fueron obtenidos de la red del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales y de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, las cuales cumplen con lo dispuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) de presentar una red mínima de 278 km de distancia entre una y otra.

Considerando que se deben escoger estaciones que cuenten con la suficiente confiabilidad en la toma de datos, un historial continuo en general con más de 30 años de mediciones, homogeneidad respecto a sus alturas de ubicación y observaciones en lo posible comunes⁴; se seleccionaron 64 estaciones entre sinópticas, climatológicas, agrometeorológicas, pluviométricas y pluviográficas. Todas éstas para realizar el análisis espacial de las variables climatológicas y 25 estaciones cercanas al área del estudio, para la distribución temporal. Dichas estaciones se pueden apreciar en la **Tabla 3-1** y en la **Figura 3-2**.

➤ Estaciones seleccionadas para el análisis espacio temporal

Teniendo en cuenta que las condiciones topográficas causan fuertes gradientes climatológicos y que en algunos sectores la densidad de la red de monitoreo suele ser baja, como se presenta en los municipios de Machetá y Tibirita en el departamento de Cundinamarca y en los municipios de Tenza, Sutatenza, Santa María y San Luis de Gaceno en el departamento de Boyacá; se retoman las estaciones más cercanas al área de influencia y mediante modelos matemáticos y ecuaciones de regresión se establece la función que determina el clima en donde no se tiene registros. Tal es el caso de los patrones de temperatura por la fisiografía tan variada a lo largo del área de influencia del proyecto.

⁴ *Ibíd.*, p 32.

Tabla 3-1 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis espacial

| CÓDIGO | CATEGORÍA | NOMBRE | m.s.n.m | Fec_Instal | OPERADOR | COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ | | PERÍODO DE ANÁLISIS |
|----------|-----------|--------------------|---------|------------|----------|---|--------------|---------------------|
| | | | | | | ESTE | NORTE | |
| 21201410 | PM | ACANDY | 2600 | 10/15/1977 | CAR | 1,021,911.35 | 1,049,870.81 | 1994 -2014 |
| 21206280 | CO | ACAPULCO | 2650 | 2/15/1990 | IDEAM | 971,645.64 | 1,006,378.26 | 1994 -2014 |
| 35080110 | PM | ALTO MUCENO | 2250 | 11/15/1977 | IDEAM | 1,090,816.95 | 1,045,277.88 | 1994 -2014 |
| 21206570 | CP | APTO CATAM | 2546 | 1/15/2001 | IDEAM | 991,883.27 | 1,012,096.16 | 1994 -2014 |
| 21205590 | SS | APTO GUAYMARAL | 2560 | 8/15/1965 | CAR | 999,732.04 | 1,024,064.89 | 1994 -2014 |
| 21205770 | CO | BASE AEREA MADRID | 2550 | 7/15/1974 | IDEAM | 978,366.93 | 1,014,666.72 | 1994 -2014 |
| 21206630 | CO | BILBAO MAXIMO POTI | 2600 | 11/15/2001 | IDEAM | 998,438.48 | 1,017,133.37 | 1994 -2014 |
| 24015110 | CO | BOYERA LA AUTOMATI | 2610 | 3/15/1960 | IDEAM | 1,025,024.44 | 1,078,253.34 | 1994 -2014 |
| 21206260 | CO | C.UNIV.AGROP-UDCA | 2570 | 12/15/1988 | IDEAM | 1,003,082.32 | 1,022,386.06 | 1994 -2014 |
| 23065120 | CO | CABRERA LA | 2000 | 9/15/1974 | IDEAM | 993,142.05 | 1,060,306.95 | 1994 -2014 |
| 35085050 | CO | CAMPOHERMOSO | 1300 | 11/15/1986 | IDEAM | 1,107,997.22 | 1,048,548.64 | 1994 -2014 |
| 21206060 | ME | CASABLANCA | 2575 | 9/15/1976 | IDEAM | 980,493.03 | 1,013,372.96 | 1994 -2014 |
| 35080060 | PM | CEDROS LOS | 1600 | 12/15/1975 | IDEAM | 1,096,934.23 | 1,046,222.76 | 1994 -2014 |
| 21205400 | CP | CHECUA-NEMOCON | 2580 | 4/15/1953 | CAR | 1,023,757.22 | 1,057,243.68 | 1994 -2014 |
| 35070070 | PM | CHINAVITA | 1900 | 9/15/1955 | IDEAM | 1,080,618.22 | 1,062,914.51 | 1994 -2014 |
| 21206690 | CO | COL MIGUEL A. CARO | 2700 | 11/15/2001 | IDEAM | 1,005,146.78 | 1,023,992.68 | 1994 -2014 |
| 21201070 | PM | CORAZON EL | 2580 | 7/15/1974 | IDEAM | 979,018.32 | 1,029,911.59 | 1994 -2014 |
| 21205910 | ME | COSECHA LA | 2600 | 9/15/1976 | IDEAM | 1,008,463.21 | 1,043,461.64 | 1994 -2014 |
| 21206210 | ME | FLORES COLOMBIANAS | 2560 | 7/15/1986 | IDEAM | 991,144.01 | 1,015,487.42 | 1994 -2014 |
| 35065010 | CO | GACHETA | 1752 | 9/15/1972 | IDEAM | 1,047,813.84 | 1,025,912.12 | 1994 -2014 |
| 35070080 | PG | GARAGOA | 1700 | 10/15/1959 | IDEAM | 1,078,617.49 | 1,053,416.73 | 1994 -2014 |
| 21205890 | ME | GUANATA | 2550 | 9/15/1976 | IDEAM | 1,002,570.47 | 1,032,040.48 | 1994 -2014 |
| 21201180 | PM | GUANQUICA | 2950 | 3/15/1985 | IDEAM | 1,015,121.94 | 1,065,032.61 | 1994 -2014 |
| 21205700 | CO | GUASCA | 2750 | 7/15/1974 | IDEAM | 1,023,226.07 | 1,031,371.34 | 1994 -2014 |
| 21206490 | ME | HATO ALTO | 2570 | 8/15/1993 | IDEAM | 993,077.25 | 1,026,416.42 | 1994 -2014 |
| 21201210 | PM | HATO EL | 2575 | 6/15/1978 | IDEAM | 991,530.84 | 1,029,909.13 | 1994 -2014 |
| 21205480 | CP | IBERIA LA | 2760 | 8/15/1955 | CAR | 1,040,394.98 | 1,048,035.53 | 1994 -2014 |
| 35075040 | CP | INST AGR MACANAL | 1300 | 7/15/1982 | IDEAM | 1,084,383.19 | 1,038,183.01 | 1994 -2014 |
| 24015120 | CP | ISLA DEL SANTUARIO | 2580 | 5/15/1942 | IDEAM | 1,037,977.28 | 1,096,337.03 | 1994 -2014 |
| 21206010 | ME | LORETOKI HDA | 2550 | 2/15/1977 | IDEAM | 1,030,466.26 | 1,054,504.41 | 1994 -2014 |
| 21201050 | PM | LOURDES | 2750 | 3/15/1985 | IDEAM | 1,023,604.48 | 1,042,764.60 | 1994 -2014 |
| 21200710 | PM | MARGARITAS LAS | 2606 | 8/15/1959 | CAR | 981,243.60 | 1,025,910.46 | 1994 -2014 |
| 35070170 | PM | NAZARETH | 400 | 9/15/1972 | IDEAM | 1,097,356.59 | 1,015,225.90 | 1994 -2014 |
| 21206600 | CO | NVA GENERACION AUT | 2590 | 11/15/2001 | IDEAM | 998,133.48 | 1,020,570.63 | 1994 -2014 |
| 35070210 | PM | PACHAVITA | 2160 | 3/15/1976 | IDEAM | 1,075,603.97 | 1,060,091.96 | 1994 -2014 |
| 21200160 | PM | PANONIA | 2800 | 3/15/1985 | IDEAM | 1,038,054.48 | 1,051,073.76 | 1994 -2014 |
| 21201060 | PG | PANTANO REDONDO 1 | 3160 | 1/15/1951 | IDEAM | 1,004,892.42 | 1,049,435.86 | 1994 -2014 |

| CÓDIGO | CATEGORÍA | NOMBRE | m.s.n.m | Fec_Instal | OPERADOR | COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ | | PERÍODO DE ANÁLISIS |
|----------|-----------|--------------------|---------|------------|----------|--|--------------|---------------------|
| | | | | | | ESTE | NORTE | |
| 21200620 | PM | PISCIS | 2820 | 3/15/1985 | IDEAM | 1,042,208.44 | 1,053,419.87 | 1994 -2014 |
| 21200440 | PM | PRADERA LA | 2703 | 9/15/1951 | CAR | 994,187.15 | 1,044,338.80 | 1994 -2014 |
| 21205570 | CP | PRIMAVERA LA | 2590 | 6/15/1965 | CAR | 984,941.71 | 1,027,752.62 | 1994 -2014 |
| 21205980 | CO | PROVIDENCIA GJA | 2560 | 2/15/1977 | IDEAM | 986,309.90 | 1,021,696.09 | 1994 -2014 |
| 35070130 | PM | QUEBRADA HONDA | 1200 | 10/15/1957 | IDEAM | 1,084,767.00 | 1,039,332.38 | 1994 -2014 |
| 21201550 | PM | ROBLE EL | 2560 | 7/15/1985 | IDEAM | 983,484.29 | 1,022,169.70 | 1994 -2014 |
| 35085020 | CO | RONDON | 2120 | 12/15/1970 | IDEAM | 1,096,863.17 | 1,084,356.88 | 1994 -2014 |
| 23065100 | CO | SABANETA | 2475 | 8/15/1986 | IDEAM | 974,502.67 | 1,033,792.62 | 1994 -2014 |
| 35080070 | PM | SAN LUIS DE GACENO | 400 | 12/15/1975 | IDEAM | 1,100,663.21 | 1,024,934.95 | 1994 -2014 |
| 21206020 | ME | SANTILLANA | 2575 | 2/15/1977 | IDEAM | 996,587.22 | 1,035,161.39 | 1994 -2014 |
| 21205740 | CO | SILOS | 2709 | 3/15/1974 | IDEAM | 1,041,700.79 | 1,057,683.26 | 1994 -2014 |
| 21201650 | PM | STA ROSITA | 2750 | 8/15/1988 | IDEAM | 1,035,494.65 | 1,057,480.23 | 1994 -2014 |
| 21201620 | PM | SUESCA | 2575 | 5/15/1987 | IDEAM | 1,031,105.94 | 1,056,777.81 | 1994 -2014 |
| 23060200 | PM | SUPATA | 1798 | 9/15/1974 | IDEAM | 982,080.03 | 1,051,262.54 | 1994 -2014 |
| 21201630 | PG | TABIO GJA | 2600 | 5/15/1987 | IDEAM | 1,001,319.47 | 1,037,253.18 | 1994 -2014 |
| 21205960 | ME | TACHI | 2650 | 2/15/1977 | IDEAM | 991,673.47 | 1,037,914.06 | 1994 -2014 |
| 21205420 | AM | TIBAITATA | 2543 | 3/15/1954 | IDEAM | 985,411.07 | 1,010,530.53 | 1994 -2014 |
| 35070050 | PM | UMBITA | 2300 | 7/15/1956 | IDEAM | 1,070,171.17 | 1,068,918.23 | 1994 -2014 |
| 21200550 | PM | UNION LA-EL ROSAL | 2725 | 1/15/1960 | CAR | 981,244.64 | 1,029,596.56 | 1994 -2014 |
| 21205013 | CO | UNISALLE - NORTE | 2595 | 12/14/2009 | IDEAM | 1,005,208.55 | 1,021,922.34 | 1994 -2014 |
| 21205940 | CO | VILLA INES | 2590 | 2/15/1977 | IDEAM | 966,004.98 | 1,026,411.47 | 1994 -2014 |
| 21201880 | PG | VILLA PAULA | 2750 | 1/15/1992 | CAR | 999,732.27 | 1,036,966.26 | 1994 -2014 |
| 23125150 | ME | VILLAGOMEZ | 1575 | 8/15/1997 | IDEAM | 986,778.72 | 1,074,705.23 | 1994 -2014 |
| 21200460 | PM | VIRGINIA LA | 2620 | 4/15/1952 | CAR | 1,001,580.85 | 1,035,123.25 | 1994 -2014 |
| 35090050 | PM | VISTA HERMOSA | 1200 | 3/15/1981 | IDEAM | 1,115,189.79 | 1,045,410.67 | 1994 -2014 |
| 35085040 | CO | VIVERO EL | 1640 | 6/15/1984 | IDEAM | 1,103,412.30 | 1,066,022.55 | 1994 -2014 |
| 21200740 | PG | ZIPAQUIRA | 2655 | 2/15/1960 | CAR | 1,008,974.04 | 1,046,182.05 | 1994 -2014 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

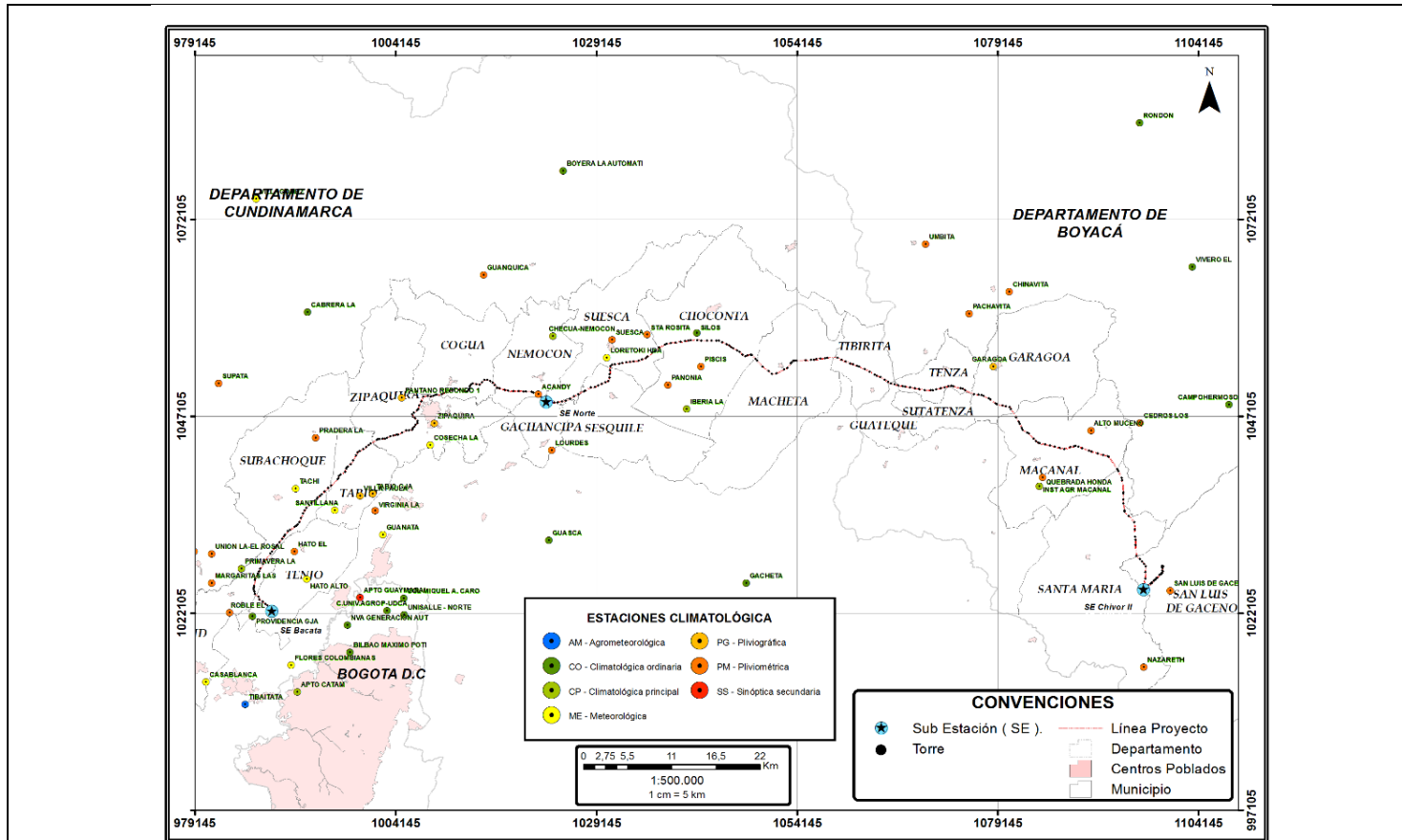


Figura 3-2 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis espacial

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ **Periodo de análisis**

Una vez seleccionadas las estaciones, se procedió a determinar el periodo de análisis, ya que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda escoger un espacio de tiempo común mayor a diez años para evaluar las variables que determinan el clima en un área dada. Es por esto que se estableció de 1994 a 2014 para todos los parámetros, con el fin de realizar el modelamiento espacial y temporal de las condiciones atmosféricas promedio del área de estudio, sin embargo no se descartan las series más largas, para el análisis estadístico. En la **Tabla 3-2** se presenta la serie de tiempo de cada una de las estaciones y el periodo común de análisis, que en este caso es de 20 años.

➤ **Análisis de consistencia de datos**

Se utilizó el método del *Water Resources Council* para la realización de los ajustes de las series dudosas de las variables anuales, que se alejan significativamente de la tendencia de la información, proceso recomendado para detectar los puntos que se separan de la tendencia de los valores máximos (por encima o por debajo). Y así, facilitar la toma de decisiones de retención o eliminación de datos que puedan afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos⁵ con un nivel de significancia del 10%. Utilizando la relación de frecuencia se pueden hallar los datos dudosos altos o bajos, mediante la siguiente expresión:

$$Y_H = Y + K_n S_y$$

Donde Y_H es el umbral de datos dudosos alto en unidades logarítmicas Y y S_y son variables estadísticas para un tamaño de la muestra. Utilizando los valores K_n que contienen la prueba de la metodología *Water Resources Council* para la distribución normal. Los picos de crecientes considerados como datos dudosos bajos o altos se eliminan del registro y se repite el análisis de frecuencia.

De los análisis realizados se concluyó que las estaciones, en su mayoría, no presentan puntos fuera de la tendencia. En aquellos casos donde se presentó, se suprimieron los datos obtenidos de registros insuficientes o dudosos y se repitió el análisis. En la **Figura 3-3** se muestra la aplicación de esta metodología y en la **Tabla 3-3** los periodos con inconsistencias.

⁵ Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mac Graw Hill.

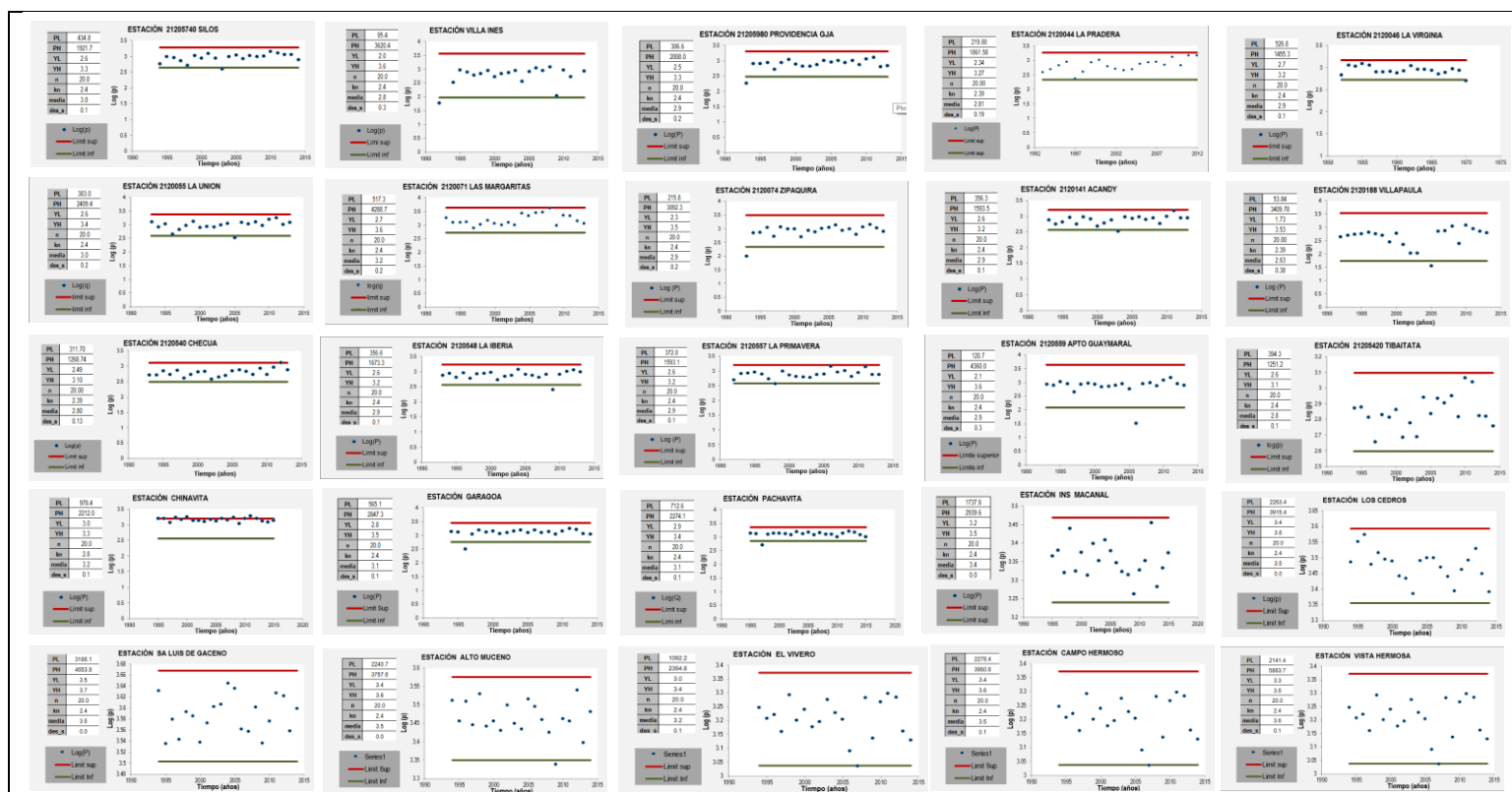


Figura 3-3 Análisis de Consistencia de datos

Método US Water Resources Council, Valores K_n , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

Tabla 3-3 Periodos con inconsistencias para establecer el análisis espacio temporal

| CÓDIGO | CATEGORÍA | NOMBRE | ZONA HIDROGRÁFICA | DEPTO | PERIODO CON INCONSISTENCIAS |
|---------|-----------|--------------------|-------------------|--------|-----------------------------|
| 2120574 | CO | SILOS | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120594 | CO | VILLA INES | Bogotá | C/caa | 1992-1994 |
| 2120598 | CO | PROVIDENCIA GJA | Bogotá | C/caa | 1993-1994 |
| 2120044 | PM | PRADERA LA | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120046 | PM | VIRGINIA LA | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120055 | PM | UNION LA-EL ROSAL | Bogotá | C/caa | 2005 -2006 |
| 2120071 | PM | MARGARITAS LAS | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120074 | PG | ZIPAQUIRA | Bogotá | C/caa | 1993-1994 |
| 2120141 | PM | ACANDY | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120188 | PG | VILLA PAULA | Bogotá | C/caa | 2005-2006 |
| 2120540 | CP | CHECUA-NEMOCON | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120548 | CP | IBERIA LA | Bogotá | C/caa | 2009-2010 |
| 2120557 | CP | PRIMAVERA LA | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120559 | SS | APTO GUAYMARAL | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 2120542 | AM | TIBAITATA | Bogotá | C/caa | Límite inferior |
| 3507007 | PM | CHINAVITA | Río Garagoa | Boyacá | Límite inferior |
| 3507008 | PG | GARAGOA | Río Garagoa | Boyacá | Límite inferior |
| 3507021 | PM | PACHAVITA | Río Garagoa | Boyacá | Límite inferior |
| 3507504 | CP | INST AGR MACANAL | Río Garagoa | Boyacá | Límite inferior |
| 3508006 | PM | CEDROS LOS | Río Legupá | Boyacá | Límite inferior |
| 3508007 | PM | SAN LUIS DE GACENO | Río Legupá | Boyacá | Límite inferior |
| 3508011 | PM | ALTO MUCENO | Río Legupá | Boyacá | 2009-2010 |
| 3508504 | CO | VIVERO EL | Río Legupá | Boyacá | Límite inferior |
| 3508505 | CO | CAMPOHERMOSO | Río Legupá | Boyacá | Límite inferior |
| 3509005 | PM | VISTA HERMOSA | Río Legupá | Boyacá | Límite inferior |

Método US Water Resources Council, Valores K_n , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos.

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ **Análisis de Homogeneidad de las series**

Una muestra es homogénea si sus variaciones responden exclusivamente a las variaciones de la atmosfera.⁶ El método utilizado es el de dobles masas, que consiste en construir una curva doble acumulativa, en la cual son relacionados los totales anuales acumulados de precipitación de un determinado lugar y la media acumulada de los totales anuales de todas las estaciones de la región, considerada climatológica e hidrológicamente homogénea desde el punto de vista de datos⁷ utilizando la siguiente Expresión:

$$P_{aj} = \left(\frac{M_a}{M_0}\right) * P_0$$

⁶ Pollack, C. . (2013). *Análisis de Homogeneidad de las series del entorno de Guipuzcoa*. San Sebastian.

⁷ Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería

Dónde:

P_{aj} : Observaciones de precipitación ajustadas a las condiciones actuales de localización, exposición o método de observación del puesto pluviométrico.

P_o : Datos observados que deben ser corregidos.

M_a : Pendiente de la recta durante el periodo correcto de toma de datos.

M_o : Pendiente de la recta en el período en que se hicieron las observaciones P_o .

Considerando que el clima varía a lo largo de la Subestación Chivor II –Norte 230 kV y Líneas de Transmisión Asociadas, en este análisis las estaciones se organizan en dos grupos, las primeras son aquellas que hacen parte de la subzona hidrográfica del río Bogotá en el departamento de Cundinamarca, y el segundo grupo las que se localizan en las subzonas hidrográficas de los ríos Lengupá y Garagoa, en el Departamento de Boyacá.

Es importante hacer esta separación, ya que la magnitud de las variables cambia de un sector a otro, tal es el caso de las lluvias en el municipio de San Luis de Gaceno donde los volúmenes de precipitación son del orden de los 4000 mm al año, mientras que el sector de Curdinamarca disminuye hasta alcanzar los 1000 mm.

A continuación se presenta este análisis en las estaciones seleccionadas para establecer la relación temporal del clima en el área de estudio.

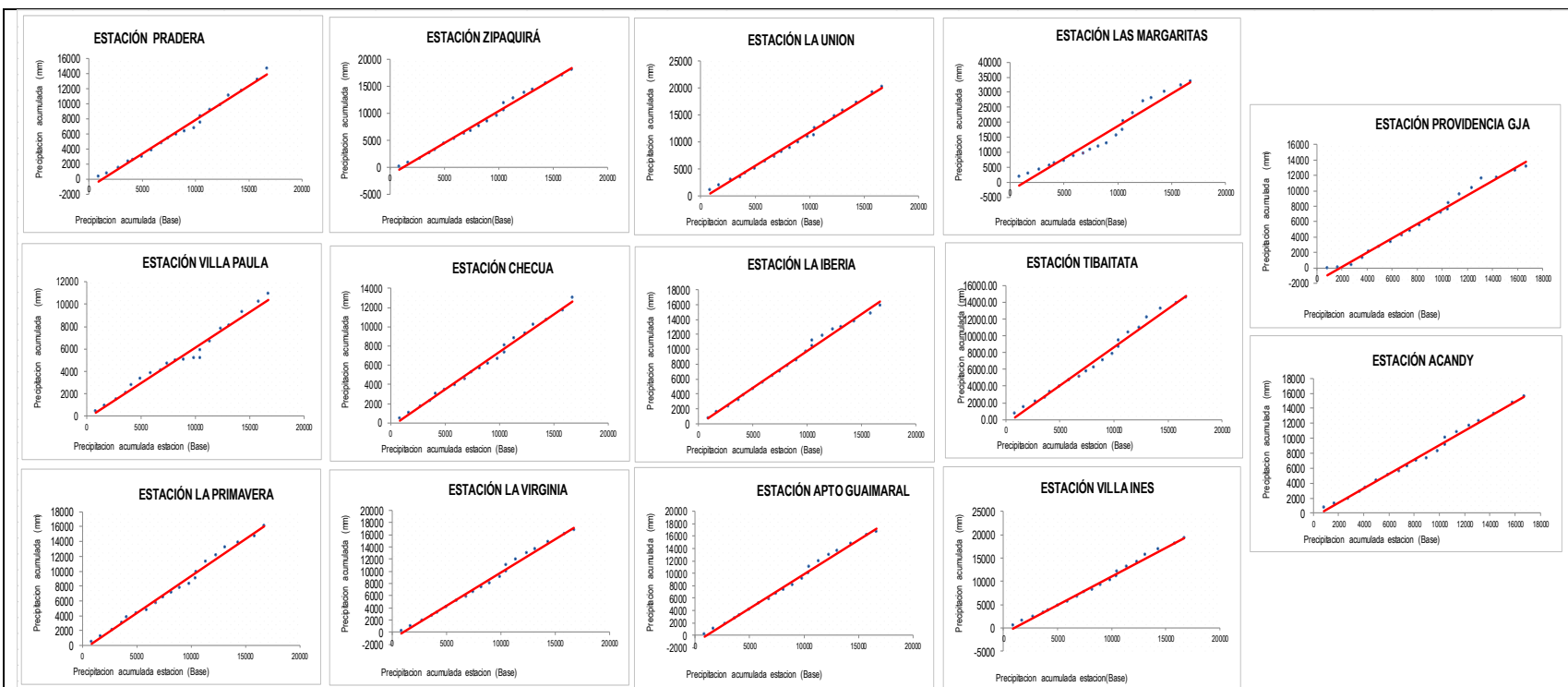


Figura 3-4 Análisis de Homogeneidad estaciones ubicadas en el departamento de Cundinamarca, Subzona hidrográfica río Bogotá

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM,2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

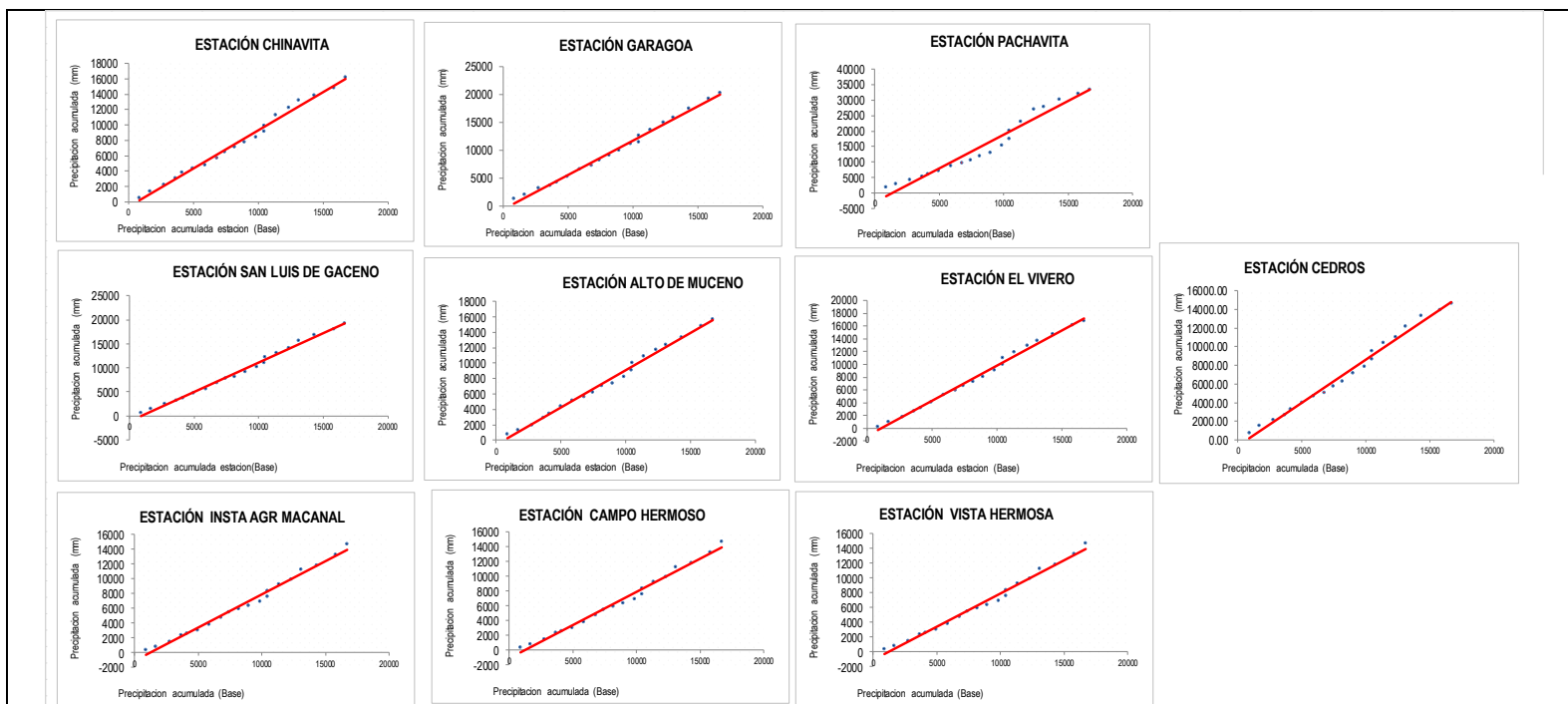


Figura 3-5 Análisis de Homogeneidad estaciones ubicadas en el departamento de Boyacá, Subzona hidrográfica río Lengupá y Garagoa

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

El llenado de los datos mensuales se realizó mediante métodos aritméticos de estimación de registros faltantes recomendados por el Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Para el caso específico de las estaciones analizadas, se utilizó el método de la Tasa Normal, que no exceda registros faltantes en más del 25%.

$$P_x = \left(\frac{1}{N}\right) * \left(\frac{N_x}{N_1}\right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2}\right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n}\right) P_n$$

Dónde:

N: Número de estaciones pluviométrica con datos de registros continuos cercanas a la estación “x”, la cual va ser completada en su registro.

P_x: Precipitación de la estación “x” durante el periodo de tiempo por completar.

P₁ a P_n: Precipitación de las estaciones 1 a n durante el periodo de tiempo por completar.

N_x: Precipitación media anual a nivel multianual de la estación “x”.

Así Las series que fueron completadas para el periodo 1994-2014 una vez se validaron las series.

➤ **Análisis Espacio temporal de las variables climatológicas**

Las variaciones climáticas más relevantes se dan principalmente por el ciclo estacional, en donde la fluctuación del clima a escala mensual determina el ciclo anual de los elementos climáticos (precipitación, temperatura, humedad, vientos, etc.). La migración de la Zona de Confluencia Intertropical o principal sistema de nubes que rige la precipitación en Colombia, es considerada como la fluctuación más importante de esta escala temporal; este ciclo permite distinguir los períodos secos de los períodos lluviosos dentro del año. Sin embargo, es normal que las estaciones lluviosas o secas se prolonguen durante decenas de días o persistan por casi uno o dos meses más.

Esto es debido a que existe una variabilidad entre las estaciones (lluviosas o secas) denominada variabilidad intraestacional. Dentro de las oscilaciones intraestacionales se destaca una señal de tipo ondulatorio en la alta atmósfera con una duración entre 30 y 60 días, conocida como Ondas Madden & Julian⁸. Estas ondas revisten gran importancia ya que pueden amortiguar o intensificar los procesos propios de la escala interanual.

A continuación se describen cada uno de los parámetros que definen el clima en el área de estudio, siguiendo los términos de referencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para Estudios de Impacto Ambiental de tendido de las líneas de transmisión del sistema nacional de interconexión eléctrica, compuesto por el

⁸ Ruiz, J. (2010). *Escenarios de Cambio Climático en Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales- IDEAM

conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones iguales o superiores a 220 kV- LI-TER-1-01.

➤ **Precipitación**

Es un proceso mediante el cual el agua cae a la superficie y su formación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense, siendo uno de los componentes principales del balance hídrico, por aportar el agua que alimenta la red de drenaje tanto superficial como subterránea.

En el área se presentan, principalmente, tres factores que originan la lluvia:

Factores de Tipo Convectivo: Son causados principalmente por el fuerte calentamiento de la superficie terrestre debido a la radiación solar, generalmente en días de poca nubosidad y alto contenido de humedad en la atmósfera, de manera que la cantidad de lluvia es alta y localizada.

Factores Tipo Orográfico: Este tipo de lluvia es originada por el ascenso de las masas de aire al encontrar obstáculos como las montañas.

Vientos Alisios: Los vientos alisios según el área que afecten, se clasifican en vientos de superficie, locales de montaña, locales de valle o de altitud. El área donde convergen se llama zona de convergencia intertropical (ZCIT). La posición geográfica de Colombia, dentro de la ZCIT, es clasificada bajo la influencia de los vientos alisios de los dos hemisferios NE y SE. Estos se caracterizan por su sequedad, especialmente hacia el oriente del país.

En el área de estudio se dan principalmente lluvias Orográficas, es por esto que hacia el departamento de Boyacá en las cuencas del río Lengupá y Garagoa existen mayores volúmenes de lluvias y se da cuando una masa de aire húmeda choca con un relieve montañoso y al chocar asciende por la ladera orientada al viento (barlovento).

El otro tipo de lluvia es en la ladera opuesta a sotavento, en el departamento de Cundinamarca sobre la cuenca del río Bogotá, donde se producen precipitaciones muy bajas, porque el aire desciende calentándose y se hace más seco.

Por lo anterior y para establecer la relación temporal de las lluvias, se agruparon las estaciones en el sector de la cuenca del río Bogotá en el departamento de Cundinamarca y las ubicadas en las cuencas de los ríos Garagoa y Lengupá en el departamento de Boyacá. En la Figura 3-2 se presentan Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis espacial.



Figura 3-6 Representación de las Lluvias Orográficas a Barlovento y a Sotavento en el área de estudio

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

En la Tabla 3-4 se muestran los promedios de precipitación total mensual multianual de las estaciones seleccionadas en el sector del departamento de Cundinamarca y en la **Figura 3-7** se describe mediante histogramas y diagramas de cajas los registros máximos, medios y mínimos de la data disponible.

Tabla 3-4 Valores medios mensuales multianuales de precipitación en el sector ubicado en el departamento de Cundinamarca, subzona hidrográfica del río Bogotá

| ESTACIÓN | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|
| Precipitación Total media (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| PRADERA LA | 29 | 34 | 64 | 101 | 98 | 64 | 59 | 57 | 69 | 119 | 112 | 57 | 816 |
| VIRGINIA LA | 42 | 44 | 62 | 113 | 98 | 96 | 56 | 50 | 68 | 122 | 110 | 57 | 862 |
| UNION LA-EL | 38 | 58 | 85 | 126 | 113 | 80 | 58 | 54 | 77 | 138 | 110 | 70 | 975 |
| MARGARITAS LAS | 38 | 60 | 109 | 155 | 161 | 108 | 79 | 77 | 102 | 173 | 169 | 77 | 1204 |
| ZIPAQUIRA | 29 | 43 | 61 | 103 | 104 | 66 | 52 | 50 | 62 | 123 | 93 | 42 | 773 |
| ACANDY | 27 | 44 | 74 | 99 | 97 | 64 | 67 | 60 | 60 | 109 | 78 | 43 | 791 |
| VILLA PAULA | 32 | 47 | 64 | 113 | 99 | 57 | 60 | 45 | 60 | 107 | 94 | 46 | 702 |
| TIBAITATA | 22 | 36 | 52 | 88 | 75 | 57 | 39 | 37 | 49 | 92 | 81 | 42 | 670 |
| VILLA INES | 40 | 50 | 83 | 110 | 96 | 51 | 43 | 46 | 49 | 114 | 112 | 65 | 859 |
| PROVIDENCIA GJA | 29 | 47 | 79 | 105 | 102 | 67 | 56 | 47 | 62 | 104 | 89 | 58 | 843 |
| Medios | 33 | 46 | 73 | 111 | 104 | 71 | 57 | 52 | 66 | 120 | 105 | 56 | 849 |
| Precipitación Total media máxima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACIÓN | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| PRADERA LA | 101 | 97 | 159 | 254 | 208 | 184 | 194 | 209 | 273 | 300 | 362 | 269 | 1600 |
| VIRGINIA LA | 109 | 96 | 123 | 231 | 164 | 173 | 108 | 93 | 199 | 216 | 219 | 145 | 1641 |
| UNION LA-EL | 127 | 162 | 218 | 234 | 285 | 199 | 249 | 141 | 167 | 368 | 271 | 172 | 1813 |
| MARGARITAS LAS | 135 | 200 | 450 | 420 | 480 | 440 | 309 | 355 | 391 | 468 | 699 | 353 | 3998 |
| ZIPAQUIRA | 114 | 146 | 162 | 272 | 237 | 180 | 180 | 135 | 179 | 287 | 246 | 137 | 1435 |

| ESTACIÓN | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-------|
| ACANDY | 81 | 146 | 193 | 246 | 253 | 163 | 151 | 111 | 130 | 293 | 208 | 124 | 1480 |
| VILLA PAULA | 78 | 111 | 85 | 278 | 175 | 110 | 151 | 80 | 91 | 160 | 233 | 159 | 1435 |
| TIBAITATA | 71 | 94 | 140 | 187 | 172 | 118 | 186 | 91 | 135 | 164 | 198 | 140 | 198 |
| VILLA INES | 82 | 116 | 152 | 230 | 188 | 95 | 119 | 119 | 93 | 180 | 246 | 148 | 246 |
| PROVIDENCIA GJA | 60 | 109 | 168 | 185 | 229 | 147 | 195 | 113 | 166 | 232 | 204 | 114 | 232 |
| Medios Máximos | 135 | 200 | 450 | 420 | 480 | 440 | 309 | 355 | 391 | 468 | 699 | 353 | 699 |
| Precipitación Total media mínima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| PRADERA LA | - | - | - | - | 14 | - | 6 | 1 | 1 | 12 | 14 | - | - |
| VIRGINIA LA | - | 18 | 13 | 20 | 19 | 40 | 19 | 14 | 18 | 57 | 1 | 5 | - |
| UNION LA-EL | - | - | 5 | 30 | 14 | 15 | 13 | 13 | 20 | 38 | 11 | - | - |
| MARGARITAS LAS | - | 2 | 3 | 10 | 33 | 3 | 4 | 2 | 12 | 15 | 6 | - | - |
| ZIPAQUIRA | - | - | - | 8 | 9 | 0 | - | - | 1 | - | 10 | - | - |
| ACANDY | - | 3 | 10 | 14 | 15 | - | 11 | 14 | 9 | 19 | 1 | - | - |
| VILLA PAULA | 4 | 8 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | 6 | - | 3 | 13 | - | - |
| TIBAITATA | - | 1 | 9 | 12 | 8 | 9 | 1 | 6 | 7 | 11 | 27 | 3 | 1 |
| VILLA INES | - | 11 | 22 | 16 | 27 | 14 | 4 | 2 | 18 | 48 | 36 | 17 | 2 |
| PROVIDENCIA GJA | - | 10 | 10 | 17 | 39 | 17 | 22 | 7 | 18 | 8 | 11 | 0 | 0 |
| Medios Mínimos | - | 5.2 | 7.5 | 13.1 | 17.9 | 9.8 | 8.2 | 6.5 | 10.4 | 21.2 | 12.9 | 2.4 | 0.0 |

**Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014),
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)**

Se concluye que en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental y hacia las cuencas de los ríos Lengupá y Garagoa se presenta un promedio de precipitación anual del orden de 3500 mm/año; se evidencia un régimen monomodal en todas las estaciones evaluadas, con un periodo de altas en los meses de abril a julio, y valores que van de 335 mm/mes a 506 mm/mes.

Por su parte en el sector ubicado en el departamento de Cundinamarca, se presentan de manera general dos periodos lluviosos intercalados con periodos de tendencia seca de régimen bimodal: el primer período lluvioso en el año se presenta entre los meses de marzo a mayo y el segundo período ocurre entre los meses de septiembre a noviembre con máximos de precipitación en los meses de mayo y octubre. Los periodos con tendencia seca se presentan entre los meses de diciembre-febrero y julio a agosto. El promedio anual de esta variable, se encuentra en el orden de los 849 y 1250mm/año. Cuando los niveles de precipitación aumentan, los valores alcanzan los 699mm en un solo mes (Ver

Tabla 3-5 y **Figura 3-8**).

Tabla 3-5 Valores medios mensuales multianuales de precipitación en el sector ubicado en el departamento de Boyacá subzona hidrográfica del río Lengupá y Garagoa.

| ESTACIÓN | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Precipitación Total media (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| CHINAVITA | 21 | 38 | 67 | 131 | 185 | 205 | 218 | 193 | 140 | 136 | 116 | 47 | 1495 |
| GARAGOA | 20 | 32 | 67 | 134 | 195 | 210 | 218 | 193 | 134 | 120 | 102 | 44 | 1467 |
| PACHAVITA | 19 | 37 | 84 | 146 | 173 | 189 | 185 | 168 | 114 | 121 | 95 | 41 | 1371 |
| INST AGR | 26 | 60 | 105 | 200 | 313 | 359 | 358 | 301 | 206 | 157 | 107 | 51 | 2243 |
| CEDROS LOS | 39 | 78 | 136 | 295 | 401 | 448 | 443 | 402 | 298 | 255 | 187 | 83 | 3066 |
| SAN LUIS DE | 34 | 73 | 148 | 400 | 563 | 550 | 540 | 454 | 376 | 322 | 244 | 10 | 3804 |
| ALTO MUCENO | 38 | 69 | 124 | 255 | 373 | 430 | 435 | 361 | 251 | 201 | 143 | 79 | 2759 |
| VIVERO EL | 23 | 32 | 72 | 146 | 218 | 247 | 248 | 226 | 155 | 135 | 108 | 52 | 1661 |
| CAMPOHERMOSO | 43 | 64 | 131 | 284 | 419 | 447 | 441 | 386 | 267 | 258 | 213 | 85 | 3037 |
| VISTA HERMOSA | 39 | 73 | 128 | 318 | 475 | 547 | 550 | 482 | 369 | 311 | 229 | 92 | 3612 |
| Medios medios | 30 | 56 | 106 | 231 | 332 | 363 | 363 | 317 | 231 | 201 | 154 | 67 | 2451 |
| Precipitación Total media máxima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACIÓN | EN | FE | MA | AB | MA | JUN | JUL | AG | SEP | OC | NO | DI | ANU |
| CHINAVITA | 100 | 17 | 150 | 278 | 501 | 370 | 374 | 354 | 277 | 247 | 267 | 16 | 501 |
| GARAGOA | 124 | 12 | 184 | 339 | 467 | 522 | 481 | 441 | 350 | 351 | 258 | 15 | 522 |
| PACHAVITA | 103 | 10 | 231 | 425 | 299 | 411 | 367 | 426 | 254 | 250 | 254 | 15 | 426 |
| INST AGR | 112 | 22 | 326 | 337 | 507 | 561 | 628 | 425 | 324 | 258 | 212 | 12 | 628 |
| CEDROS LOS | 147 | 29 | 349 | 493 | 627 | 660 | 789 | 531 | 558 | 431 | 388 | 24 | 789 |
| SAN LUIS DE | 158 | 25 | 451 | 821 | 107 | 907 | 862 | 780 | 639 | 494 | 447 | 31 | 1079 |
| ALTO MUCENO | 177 | 16 | 298 | 410 | 552 | 807 | 727 | 560 | 382 | 324 | 252 | 21 | 807 |
| VIVERO EL | 114 | 85 | 143 | 313 | 377 | 364 | 413 | 357 | 320 | 247 | 230 | 12 | 413 |
| CAMPOHERMOSO | 128 | 15 | 275 | 518 | 684 | 801 | 679 | 555 | 363 | 352 | 364 | 21 | 801 |
| VISTA HERMOSA | 253 | 27 | 305 | 612 | 877 | 925 | 954 | 915 | 593 | 524 | 842 | 23 | 954 |
| Medios Máximos | 253 | 29 | 451 | 821 | 107 | 925 | 954 | 915 | 639 | 524 | 842 | 31 | 1079 |
| Precipitación Total media mínima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| CHINAVITA | - | - | 14 | 28 | 72 | 60 | 94 | 58 | 37 | 33 | 33 | - | - |
| GARAGOA | - | - | - | 19 | 43 | 115 | 83 | 62 | 43 | 33 | 12 | - | - |
| PACHAVITA | - | - | 15 | 18 | 17 | 88 | 36 | 43 | 25 | 21 | 16 | - | - |
| INST AGR | - | 2 | 31 | 72 | 148 | 154 | 160 | 139 | 101 | 52 | 36 | - | - |
| CEDROS LOS | - | 3 | 3 | 116 | 206 | 116 | 122 | 228 | 124 | 109 | 56 | - | - |
| SAN LUIS DE | - | - | 11 | 112 | 272 | 284 | 251 | 244 | 179 | 111 | 130 | 6 | - |
| ALTO MUCENO | - | 5 | 38 | 79 | 117 | 96 | 130 | 69 | 73 | 86 | 52 | 17 | - |
| VIVERO EL | - | 5 | 11 | 48 | 116 | 157 | 77 | 120 | 56 | 55 | 58 | 4 | - |
| CAMPOHERMOSO | - | 10 | 20 | 155 | 244 | 246 | 222 | 260 | 166 | 166 | 125 | 6 | - |
| VISTA HERMOSA | - | - | 13 | 45 | 194 | 244 | 188 | 204 | 202 | 170 | 14 | 23 | - |
| Medios Mínimos | - | 2.5 | 15. | 69. | 142. | 155. | 136. | 142. | 100. | 83. | 53. | 6.3 | 0.0 |

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

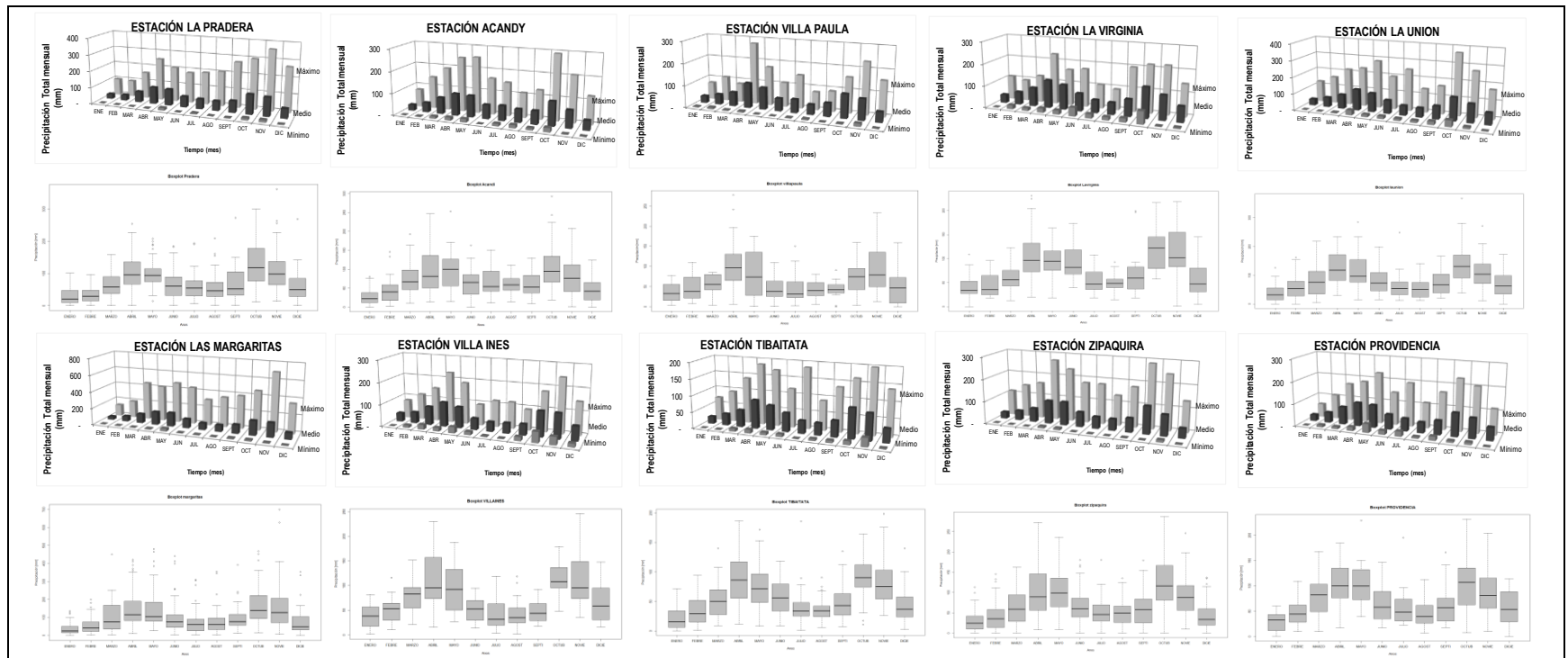


Figura 3-7 Distribución temporal de la precipitación departamento de Cundinamarca, Subzona hidrográfica río Bogotá
Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

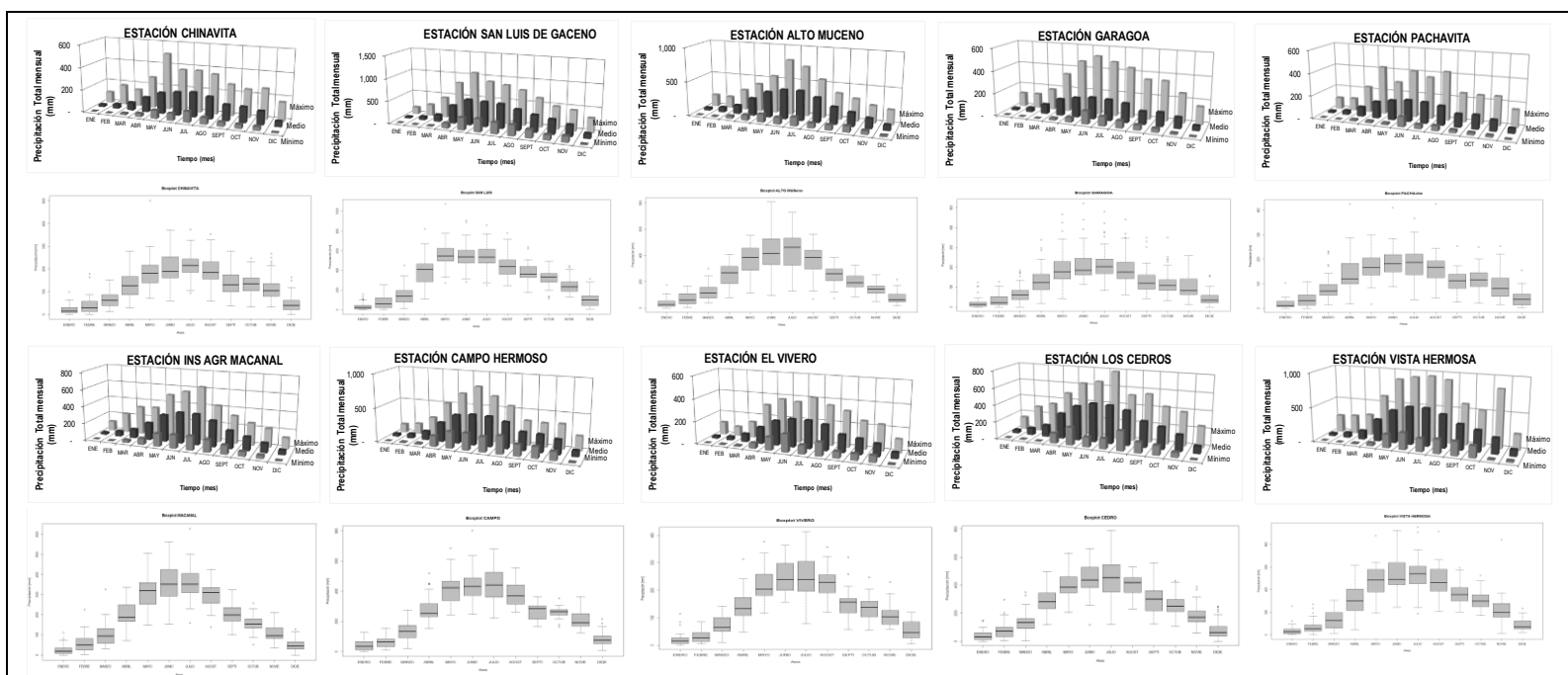


Figura 3-8 Distribución temporal de la precipitación departamento de Boyacá, Subzona hidrográfica río Lengupá y Garagoa

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ **Análisis espacial de la precipitación**

La representación cartográfica de la precipitación se efectúa haciendo pasar líneas por puntos que reciben igual cantidad de lluvia durante un periodo considerado. Se empleó el método de distancia inversa ponderada (IDW), que es una estimación determinista, donde los sitios sin valor conocido son hallados por una combinación lineal de los valores con datos conocidos. Tiene como suposición que los valores más cercanos al lugar sin registro conocido son más representativos para estimarlo. Los valores desconocidos se determinan con la siguiente expresión:

$$Z? = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{Z_i}{D_i^W}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{D_i^W}}$$

Dónde:

Z?: El valor a ser determinado.

M: El número de puntos con valor conocido más cercanos a Z?

D: Distancia entre Zi y Z?

W: Valor de ponderación.

El valor de W controla la región de influencia de cada una de las regiones con información. Cuando W aumenta, la región de influencia decrece. Cuando W es igual a cero el método es idéntico a un simple promedio.

Como se dijo anteriormente el comportamiento indica una variación en aumento desde los llanos orientales hacia el Pie de Monte y la vertiente Oriental de la Cordillera Oriental, influenciado principalmente por las corrientes de aire húmedo. A lo largo de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, se registran altas precipitaciones debido a la formación de enormes masas nubosas provocadas por el ascenso de las corrientes húmedas.

En esta vertiente a Barlovento (lado expuesto al viento), las corrientes de aire se elevan al chocar con la montaña produciéndose el consiguiente enfriamiento y su posterior condensación, dando lugar a la formación de abundante nubosidad y precipitaciones. Los volúmenes inician con valores cercanos a los 4000 mm en el Municipio de San Luis de Gaceno a medida que se adentra a la cordillera disminuye por la pérdida de humedad hasta alcanzar los 700mm de lluvia en el municipio de Tenjo.

En la Figura 3-9, Figura 3-10, Figura 3-11 y Figura 3-12 se muestra la distribución espacial de la precipitación en el área de influencia del proyecto.

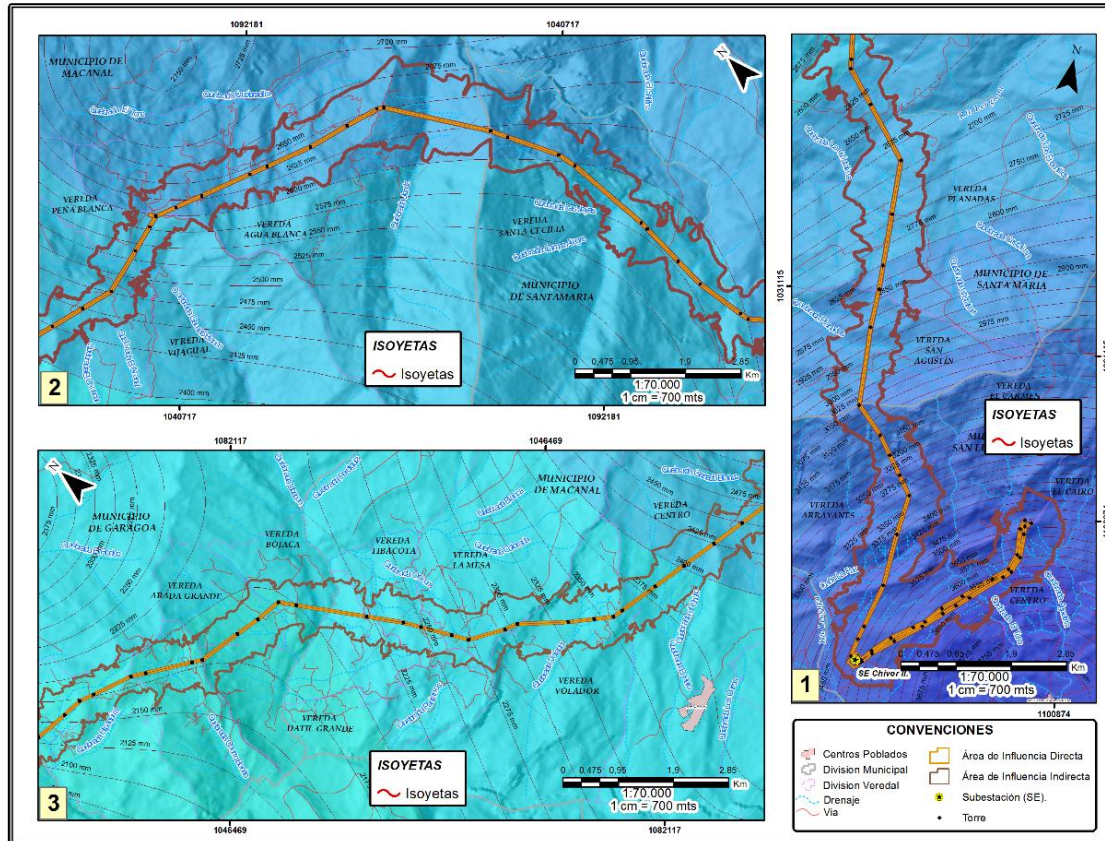


Figura 3-9 Distribución espacial de la precipitación (1-3)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

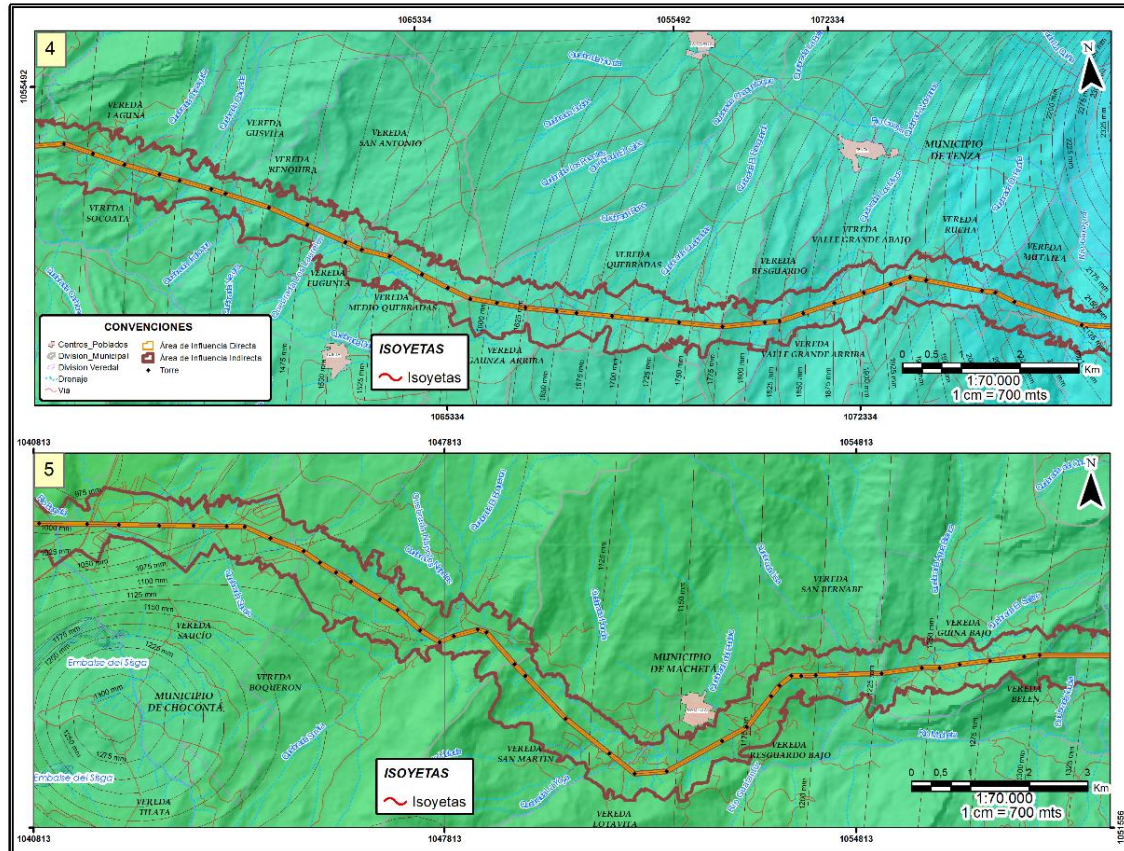


Figura 3-10 Distribución espacial de la precipitación (4-5)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

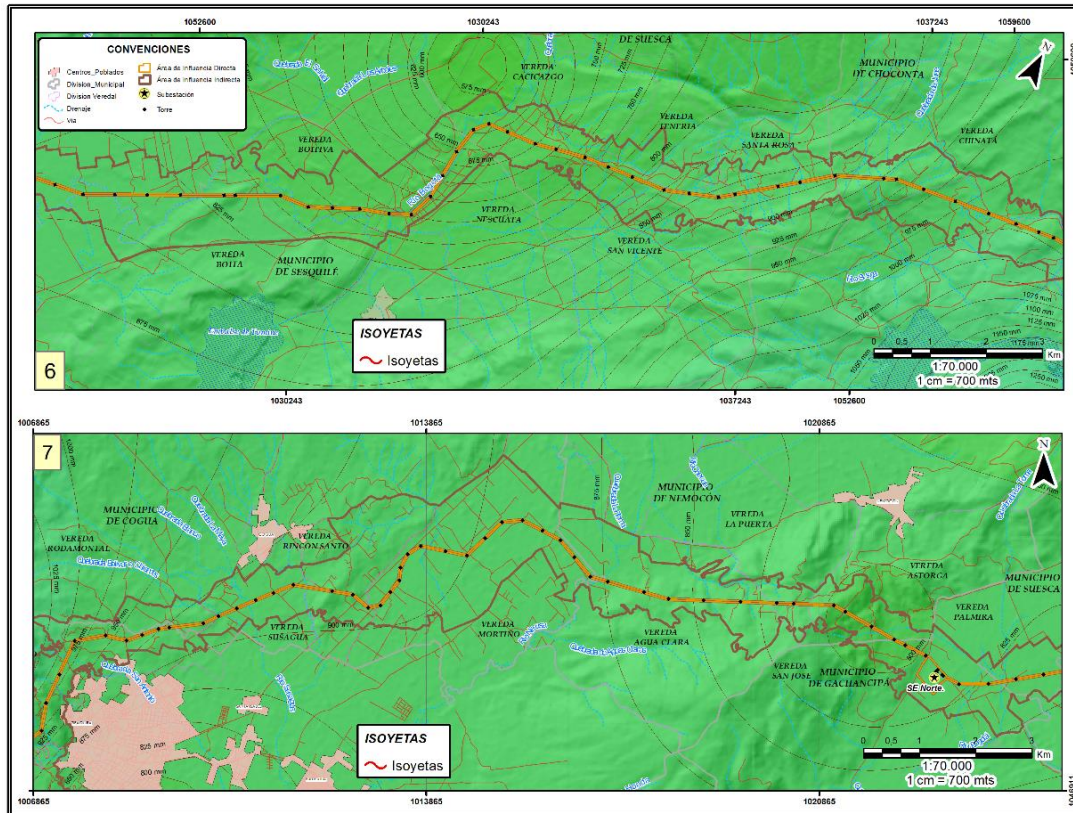


Figura 3-11 Distribución espacial de la precipitación (6-7)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

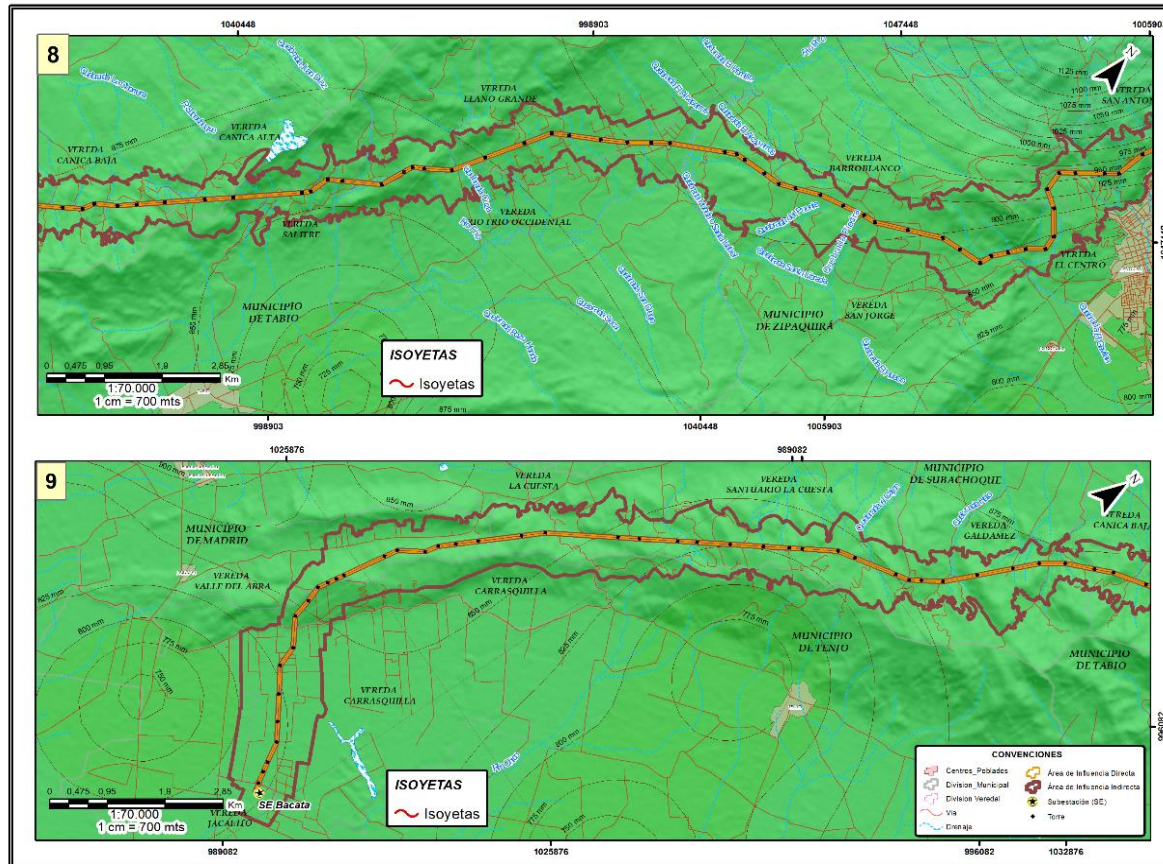


Figura 3-12 Distribución espacial de la precipitación (8-9)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ Temperatura

La temperatura es el grado de calor o calentamiento del aire; ésta varía de acuerdo con la altitud y la latitud. La densidad del aire disminuye con la altura, por lo que ésta se expande con menor presión atmosférica y reduce la cantidad de vapor de agua, el gas carbónico y los componentes más pesados, lo cual influye en forma negativa en la capacidad de absorción y retención del calor⁹.

La temperatura guarda una estrecha correlación con la elevación, causados por la disminución de la temperatura con el aumento de altura sobre el nivel del mar. Para verificar este concepto, se realizó una gráfica de correlación de los valores de temperatura, de las estaciones que cuentan con esta variable, con la altura sobre el nivel del mar (ver **Figura 3-13**), obteniéndose como resultado la función general para valores medios de temperatura.

$$T(^{\circ}C) = -0,0053H + 27,56$$

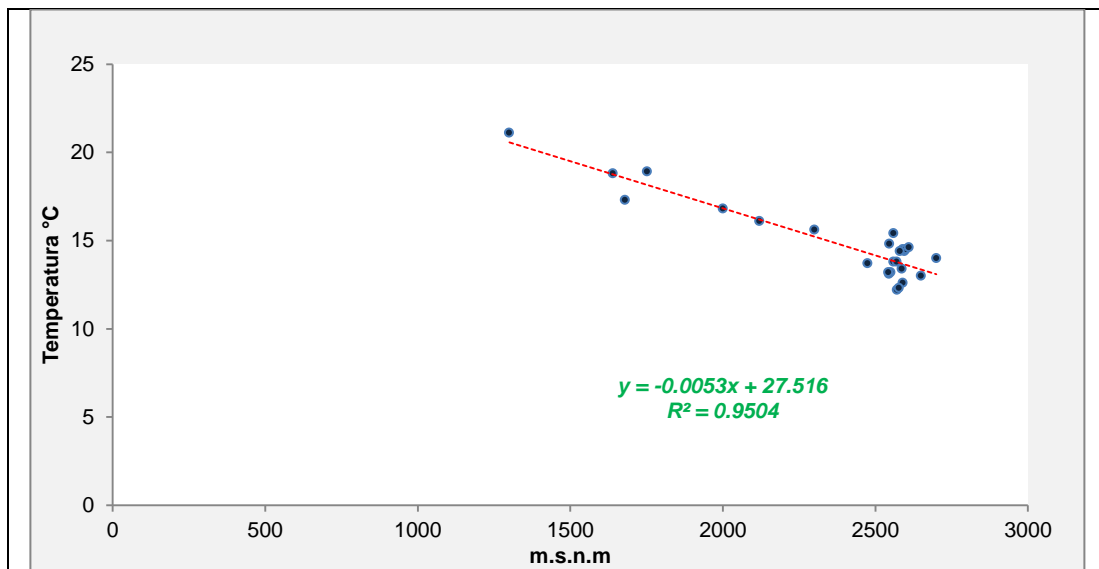


Figura 3-13 Regresión lineal Temperatura vs Altura

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016).

Dónde:

T(°C): Es la temperatura del aire a una altura de 0 msnm

H; Altura msnm

9 IDEAM. (2005). Atlas Climatológico para Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Según la anterior ecuación, por cada metro que se asciende, la temperatura del aire desciende en $0,0053^{\circ}\text{C}$ y $27,46$ es la temperatura promedio del aire a una altura de 0 msnm.

Tomando como referencia los pisos térmicos propuestos por Caldas en 1802 del estudio Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia¹⁰, y la función de correlación de alturas; se tiene que, los pisos térmicos que se desarrollan en el área de estudio son: Cálido, Templado, frío y muy frío.

Tabla 3-6 Temperatura según el gradiente altitudinal

| PISO TÉRMICO | RANGO DE ALTURA (m) | TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$) |
|---------------------|--|--|
| Cálido | De 0 a 800 | $T > 24$ |
| Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18°C y 24°C |
| Frio | De 1.801 a 2.800 | Entre 12°C y 18°C |
| Muy Frio | De 2.801 a 3.700 | Entre 6°C y 12°C |
| Extremadamente frío | De 3.701 a 4.500 y de 4.500 en adelante para nival | Entre $1,5$ y 6°C , y menores a $1,5$ para nival |

Fuente: (IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP, 2007)¹¹.

De acuerdo a estas consideraciones se presenta a continuación la distribución temporal y espacial de la temperatura en el área de estudio:

Se aclara que para esta variable no se tienen suficientes estaciones en el sector de Boyacá; sin embargo por medio de la ecuación de regresión de la **Figura 3-13** (Regresión lineal Temperatura vs Altura) fue posible el cálculo de la temperatura en cualquier punto del área.

Tabla 3-7 Valores medios mensuales multianuales de Temperatura $^{\circ}\text{C}$

| Nombre | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$) | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 13.1 | 13.5 | 13.9 | 13.9 | 13.7 | 13.2 | 12.9 | 13 | 13.1 | 13.3 | 13.5 | 13.1 | 13.4 |
| TIBAITATA | 12.8 | 13.2 | 13.5 | 13.7 | 13.8 | 13.5 | 13 | 13 | 13 | 13.2 | 13.2 | 13 | 13.2 |
| IBERIA LA | 11.9 | 12.2 | 12.4 | 12.6 | 12.6 | 12.2 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 12.4 | 12.6 | 12 | 12.2 |
| PRIMAVERA LA | 11.8 | 12.4 | 12.6 | 12.9 | 12.9 | 12.6 | 12.1 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.2 | 11.7 | 12.3 |

¹⁰

¹¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM), INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC), INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT (IAVH), INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS JOSÉ BENITO VIVES DE ANDREÍS (INVEMAR), INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (SINCHI) e INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá: 2007.

| Nombre | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| APTO GUAYMARAL | 12.9 | 13.1 | 13.7 | 13.8 | 13.3 | 12.8 | 12.5 | 12.7 | 12.9 | 13 | 13.2 | 12.9 | 13.1 |
| SILOS | 12 | 12.4 | 12.7 | 12.7 | 12.6 | 11.8 | 11.3 | 11.6 | 11.9 | 12.4 | 12.7 | 12.2 | 12.2 |
| VILLA INES | 12.5 | 12.6 | 13 | 13 | 13.1 | 12.8 | 12.4 | 12.1 | 12.7 | 12.3 | 12.8 | 12.4 | 12.6 |
| PROVIDENCIA GJA | 13.3 | 13.7 | 13.9 | 14.2 | 14.2 | 13.9 | 13.6 | 13.6 | 13.6 | 13.7 | 13.8 | 13.6 | 13.8 |
| INS MACANAL | 17.6 | 17.9 | 17.9 | 17.7 | 17.4 | 16.7 | 16.2 | 16.4 | 17 | 17.4 | 17.6 | 17.4 | 17.3 |
| CAMPO HERMOSO | 21.8 | 22 | 21.7 | 21.2 | 20.9 | 20.3 | 20 | 20.3 | 20.9 | 21.4 | 21.4 | 21.4 | 21.1 |
| Temperatura Media | 12.6 | 13 | 13.3 | 13.4 | 13.4 | 13 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 13 | 13.1 | 12.7 | 12.9 |
| Temperatura media Máxima mensual (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 17.1 | 17.5 | 17.6 | 17.5 | 17.6 | 17.1 | 16 | 17 | 16.3 | 15.7 | 15.8 | 15.5 | 16.4 |
| TIBAITATA | 15.7 | 15.4 | 15.7 | 15.8 | 16.4 | 15.8 | 15.5 | 14.9 | 14.7 | 14.7 | 14.8 | 15.1 | 16.4 |
| IBERIA LA | 16.7 | 15.3 | 14.5 | 14.7 | 14.7 | 14.4 | 14.8 | 14.2 | 13.5 | 14.3 | 14.4 | 17 | 14 |
| PRIMAVERA LA | 22.8 | 16.9 | 15.9 | 16 | 15.2 | 14.7 | 16.6 | 15.3 | 16.1 | 15 | 14.7 | 13.6 | 14.6 |
| APTO GUAYMARAL | 16 | 17.5 | 18.3 | 18.4 | 15.4 | 15.5 | 15.4 | 18.4 | 18.6 | 15 | 16.5 | 16.2 | 16.4 |
| SILOS | 13.1 | 14.2 | 13.9 | 13.9 | 14.1 | 12.9 | 12.6 | 12.6 | 13.1 | 13.1 | 13.7 | 13.2 | 14.2 |
| VILLA INES | 13.7 | 13.4 | 13.5 | 13.6 | 13.5 | 13 | 12.8 | 12.6 | 13.4 | 13.1 | 13.7 | 12.5 | 13.7 |
| PROVIDENCIA GJA | 15 | 15.8 | 15.7 | 15.8 | 15.4 | 15 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.7 | 14.6 | 14.7 | 15.8 |
| INS MACANAL | 18.8 | 19.7 | 19.5 | 18.6 | 18.3 | 17.7 | 17.2 | 17.6 | 18.9 | 19.3 | 18.3 | 18.5 | 19.7 |
| CAMPO HERMOSO | 23.3 | 23.4 | 23.1 | 22.2 | 21.7 | 20.8 | 20.7 | 21.2 | 21.6 | 22.2 | 22.2 | 22.6 | 23.4 |
| Temperatura Media Máxima | 17.7 | 16.5 | 16.4 | 16.5 | 15.9 | 15.5 | 15.7 | 16 | 15.8 | 14.9 | 15.2 | 15.5 | 16 |
| Temperatura media mínima mensual (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 10.2 | 10.3 | 10.9 | 11 | 10.8 | 10.3 | 10 | 9.7 | 10.1 | 10.5 | 10.9 | 10 | 10.6 |
| TIBAITATA | 10.9 | 11.4 | 11 | 11.9 | 12 | 11.8 | 9.7 | 11.4 | 11.3 | 11.4 | 12 | 11.1 | 9.7 |
| IBERIA LA | 9.6 | 8.3 | 8.7 | 9.6 | 9.9 | 10.1 | 9.8 | 9.7 | 10.2 | 10.4 | 11.2 | 9.6 | 10.3 |
| PRIMAVERA LA | 7.7 | 9.4 | 9.2 | 9.8 | 10.5 | 10.2 | 9.3 | 8.6 | 8.9 | 8.6 | 7.6 | 7.7 | 9.7 |
| APTO GUAYMARAL | 8.5 | 9.3 | 10.7 | 11.2 | 1.2 | 9 | 7.2 | 7.3 | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 7.7 | 9.3 |
| SILOS | 11.2 | 11.3 | 11.8 | 11.9 | 11.6 | 10.7 | 10.2 | 10.6 | 11.1 | 11.7 | 11.9 | 11.2 | 10.2 |
| VILLA INES | 12.1 | 11.8 | 12.6 | 12.3 | 12.8 | 12.6 | 12.1 | 11 | 12.2 | 10.4 | 12.4 | 12.4 | 10.4 |
| PROVIDENCIA GJA | 11.3 | 11.3 | 12.5 | 13.3 | 13.1 | 13 | 12.5 | 12.7 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 11.3 |
| INS MACANAL | 17 | 16.8 | 17.1 | 16.9 | 16.5 | 15.5 | 14.7 | 14.9 | 16.1 | 16.4 | 16.3 | 16.3 | 14.7 |
| CAMPO HERMOSO | 20.7 | 20.8 | 20.6 | 20.5 | 20.2 | 19.6 | 18.7 | 19.6 | 20.4 | 20.5 | 20.8 | 20.7 | 18.7 |
| Temperatura Media Mínima | 10.2 | 10 | 10.2 | 10.8 | 10.9 | 10.7 | 9.8 | 10.3 | 10.5 | 10.8 | 11.4 | 10.2 | 10.5 |

**Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014),
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)**

En la zona ubicada en la cuenca del río Bogotá la temperatura media mensual oscila entre 11 y 12°C; las máximas se encuentran entre los 14 y los 16°C, presentándose en los meses de enero a marzo y de agosto a septiembre. La oscilación promedio alcanza 1°C a 3°C entre los registros del mes más frío con el

mes más cálido, lo que da lugar a una zona de carácter isotermal, indicando que la temperatura media, no alcanza grandes variaciones a través del año y, por tanto, se considera constante y homogénea.

En la zona ubicada sobre las cuencas de río Garagoa y Lengupá tiende a aumentar con valores entre los 20° y 17 °C y a medida que se acerca al municipio de San Luis Gaceno alcanza los 24 °C. En la **Figura 3-16** se presenta la Distribución espacial de las temperaturas en el área de estudio.

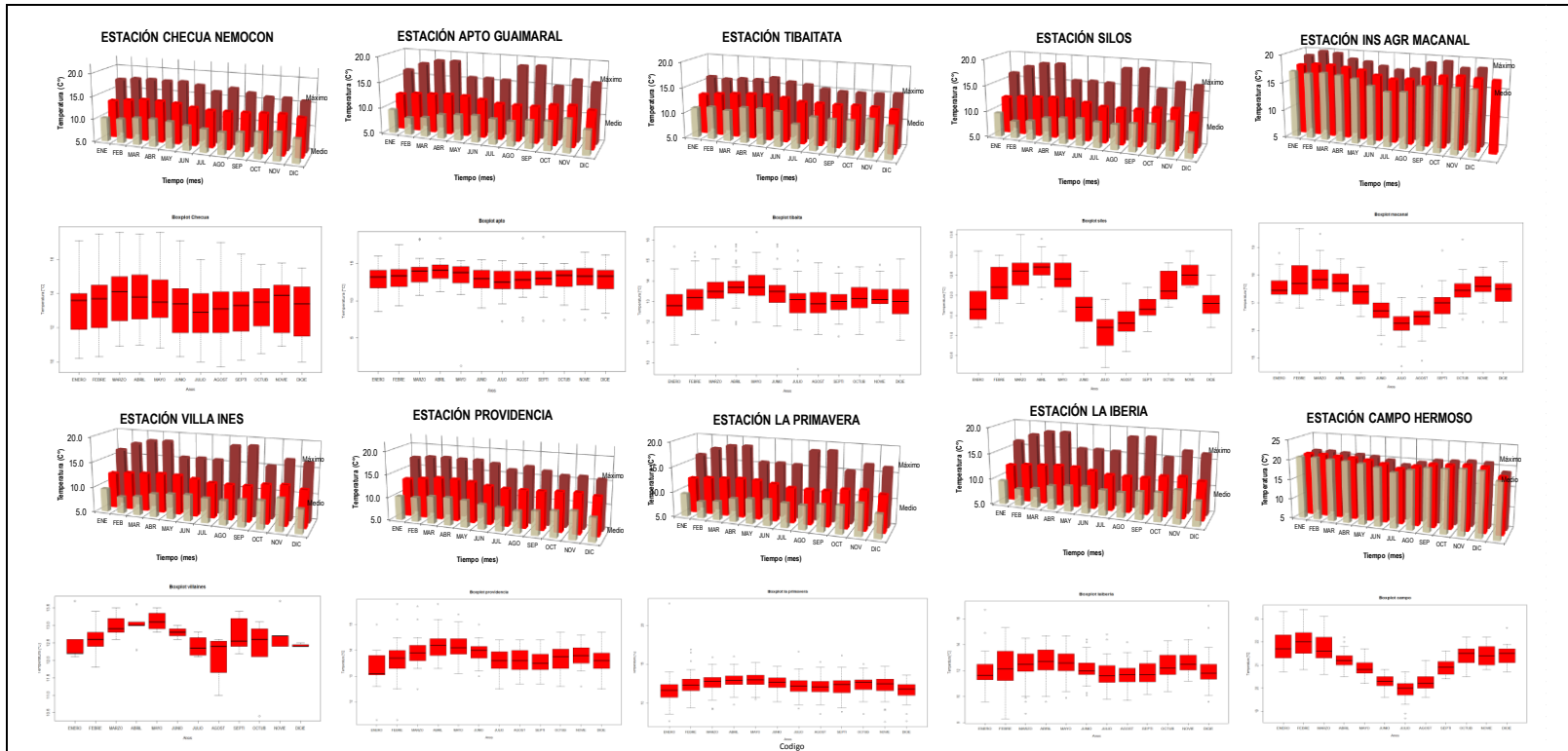


Figura 3-14 Distribución temporal de la temperatura en el área de estudio

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM,2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

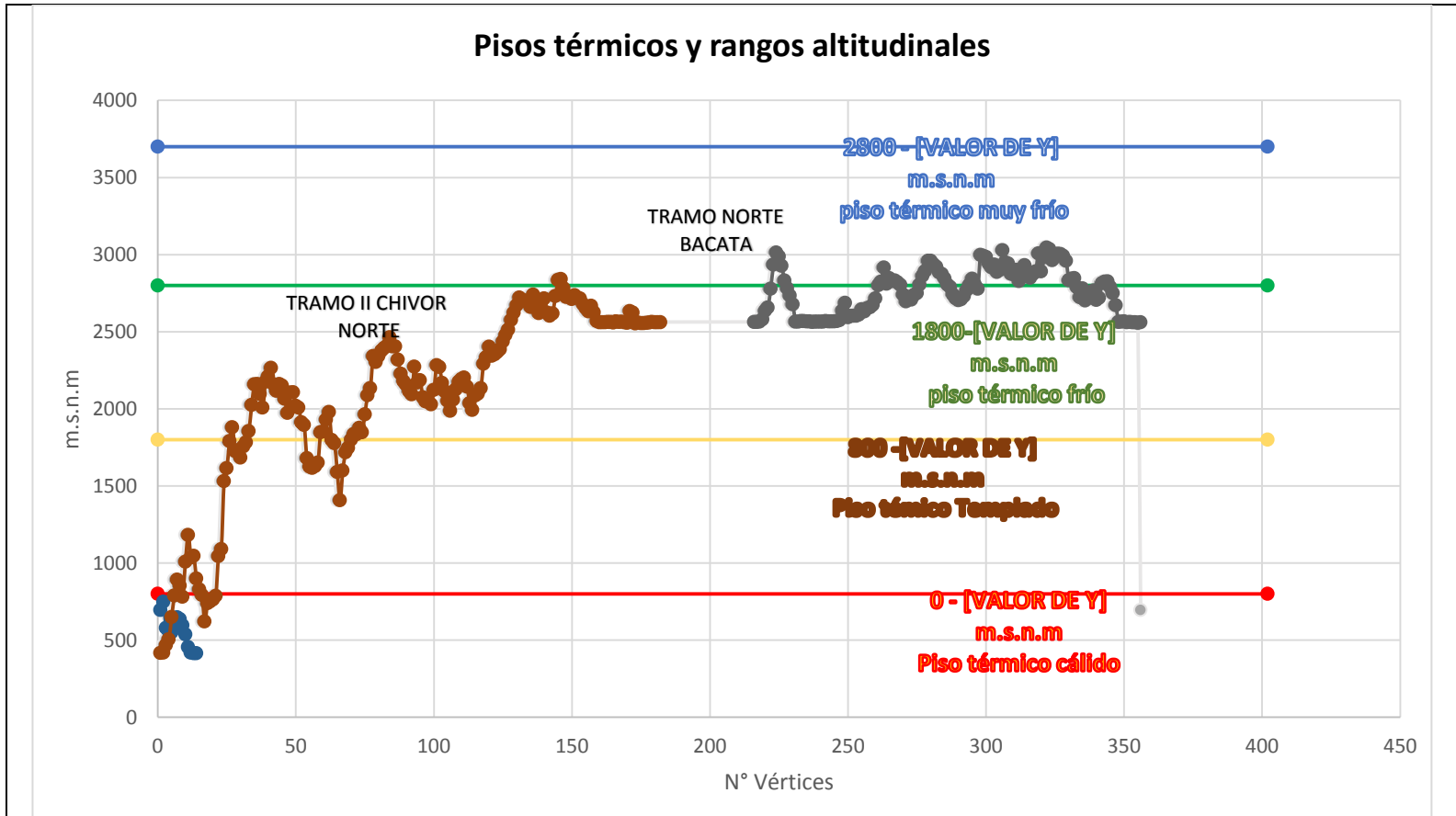
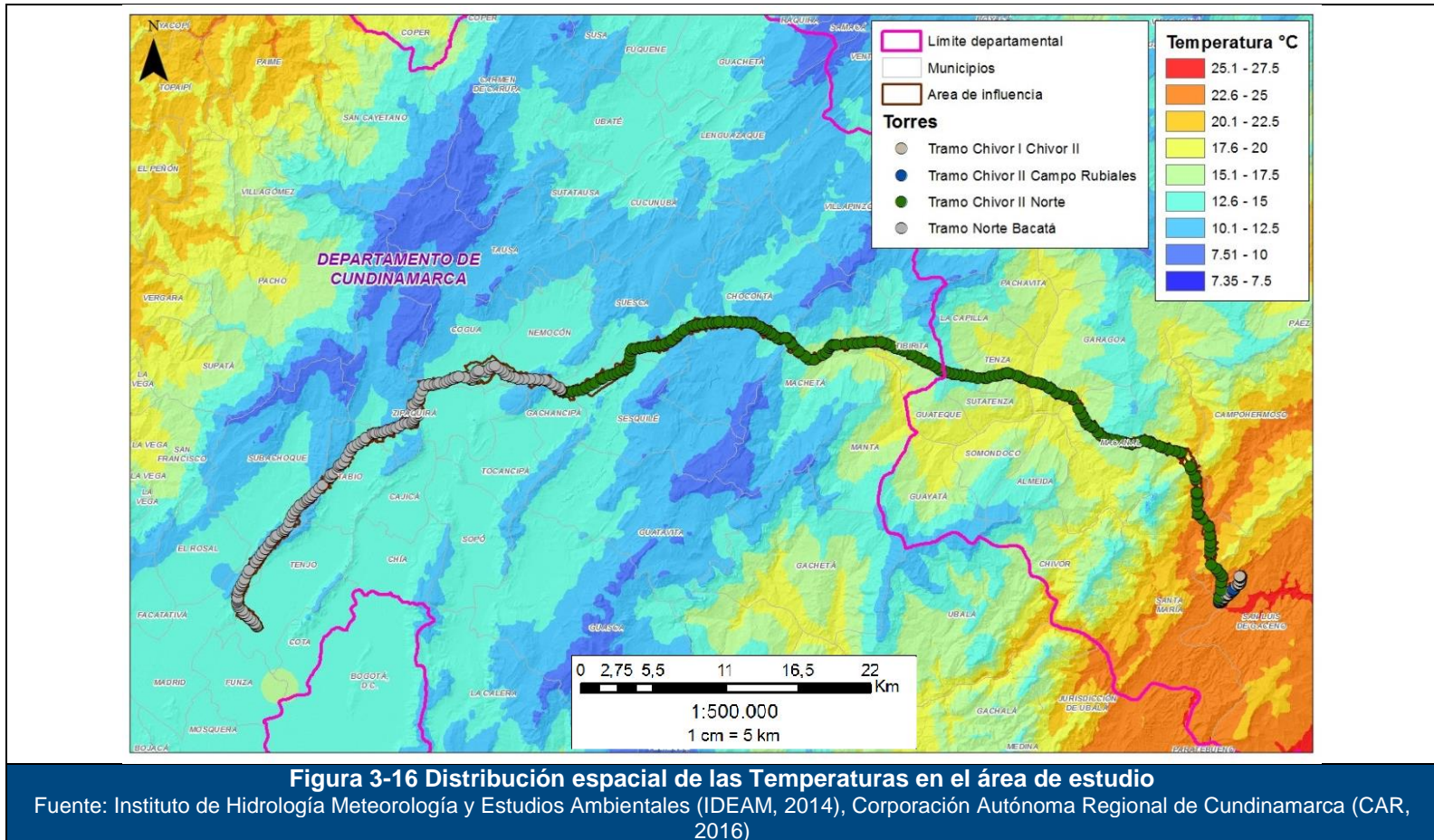
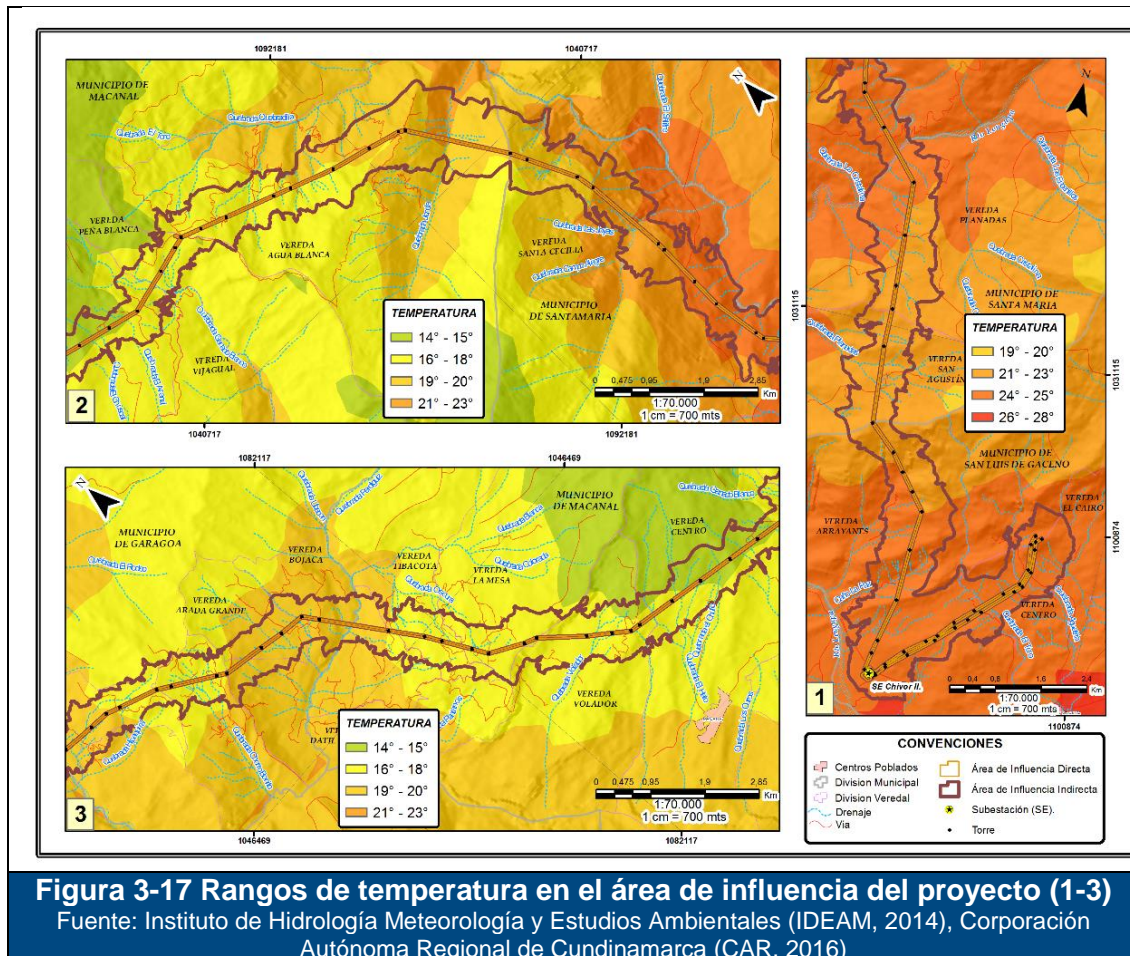
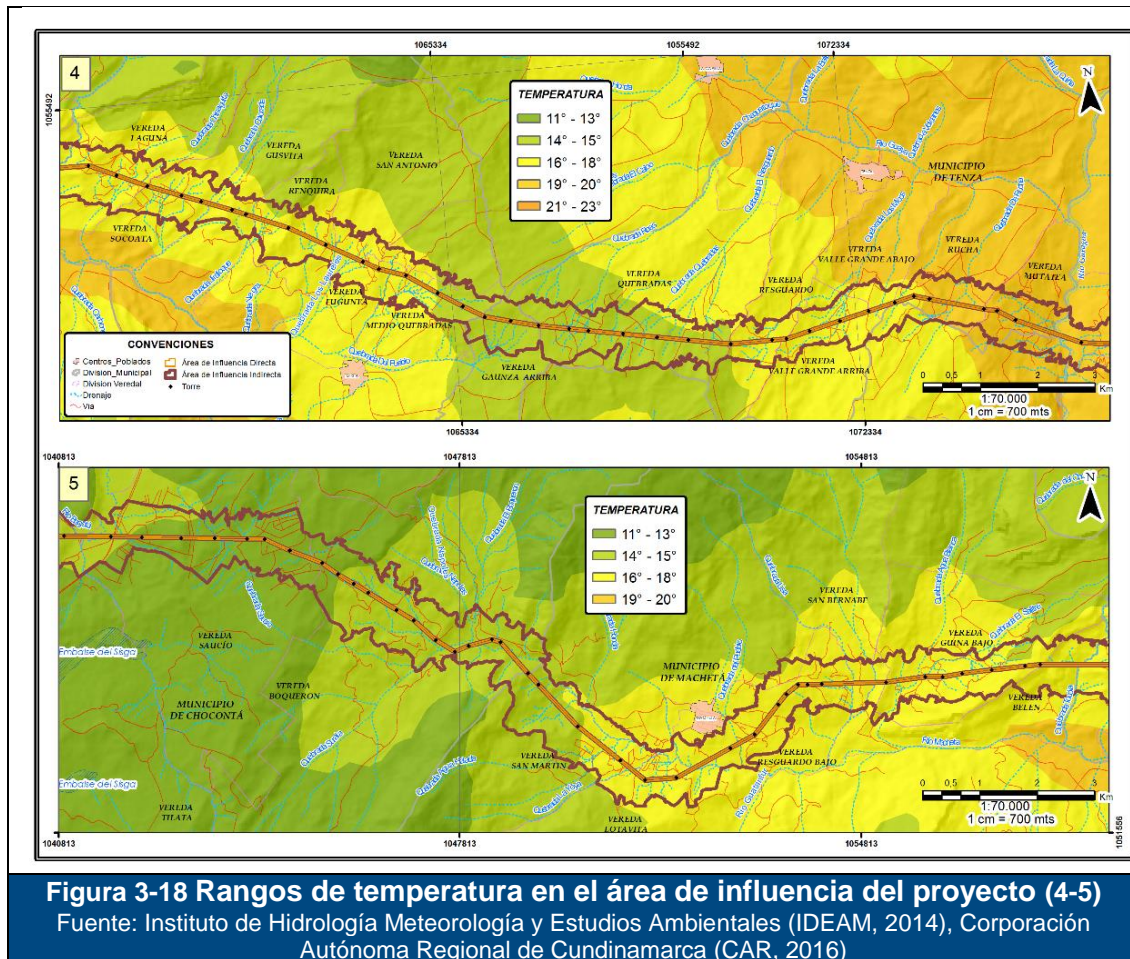


Figura 3-15 Rangos altitudinales del trazado

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM,2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)







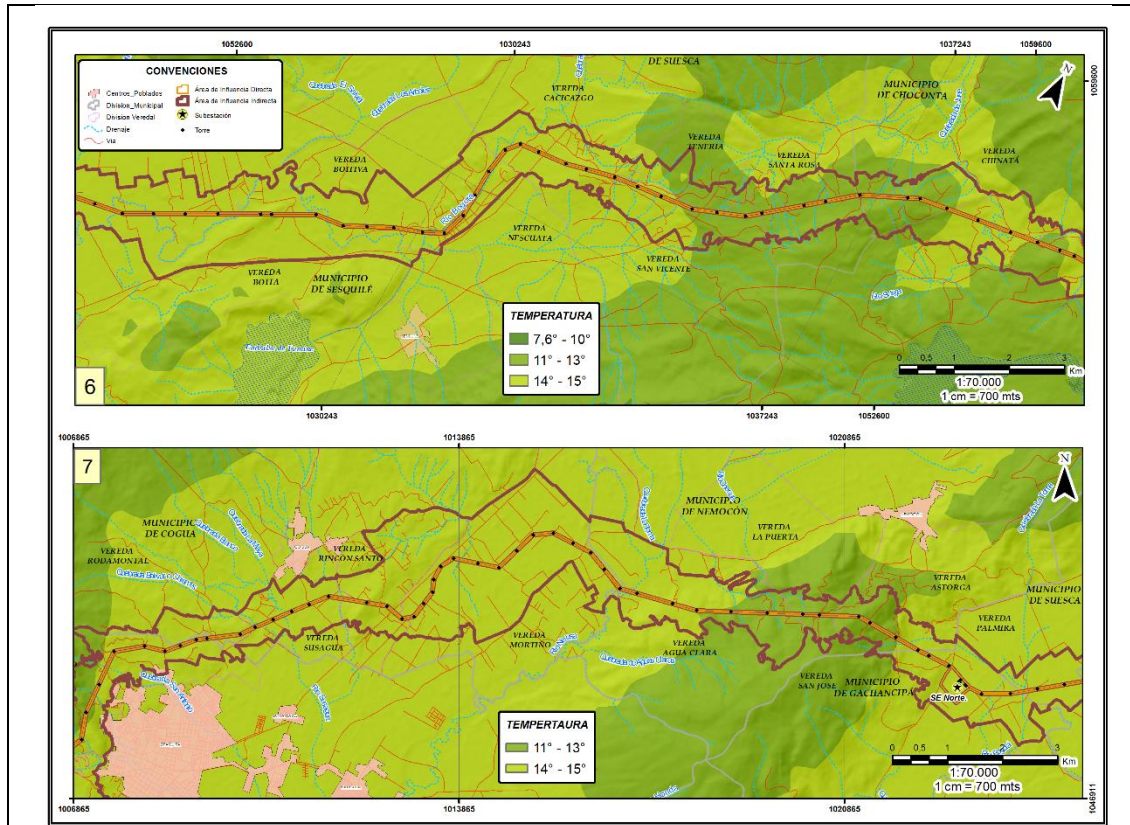


Figura 3-19 Distribución espacial de la Temperatura en el área de estudio
Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

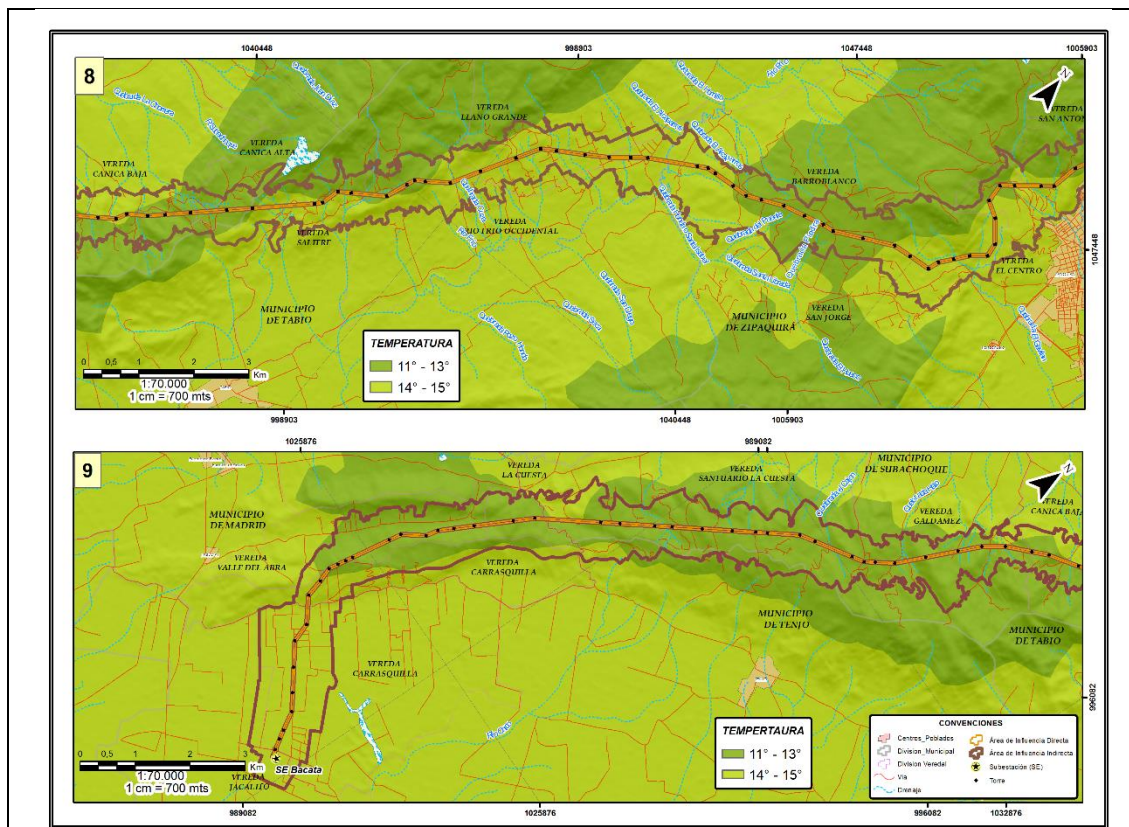


Figura 3-20 Distribución espacial de la Temperatura en el área de estudio
Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016).

➤ Humedad Relativa

La humedad relativa se define como el contenido de vapor de agua en la atmósfera. El vapor de agua se produce por procesos de evaporación- transpiración y tiene una relación estrecha en la estabilidad atmosférica y por consiguiente con la ocurrencia y distribución de la precipitación. Una característica física del aire atmosférico es que tiene una capacidad máxima para almacenar vapor de agua en forma de gas. Cuando el aire recibe un volumen de vapor de agua mayor al que puede almacenar como gas, el vapor sobrante se condensa sobre superficies cercanas o sobre núcleos de condensación, y el aire queda saturado¹². La humedad relativa y la temperatura tienen una relación inversa: cuando la temperatura aumenta, la capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta y la humedad relativa disminuye; mientras que cuando la temperatura disminuye, la capacidad de retención decrece y la humedad relativa aumenta. Así mismo, ésta aumenta con la

¹² *Op. cit.*

latitud. De otro lado, si el contenido de vapor de agua en el aire está por debajo del volumen que el aire puede almacenar como gas, el aire está en condición de no saturación¹³.

A partir de la información suministrada por las estaciones próximas a la cuenca del río Bogotá, se puede observar que la humedad relativa tiene un comportamiento muy homogéneo durante la mayor parte del año para toda el área de estudio. Los valores oscilan entre 67% y 95% con un promedio mensual de 77.1%.

Los menores valores se presentan en los meses de enero a marzo y los máximos durante los meses de julio a septiembre; esto contrasta con los niveles de temperatura mostrados anteriormente, ya que al presentarse mayores niveles de temperatura, la capacidad del aire para almacenar agua aumenta, siendo la humedad relativa menor durante estos meses. Esta correlación inversa entre la humedad relativa y la temperatura se presenta a lo largo del ciclo anual para todas las estaciones analizadas.

Por su parte en el sector ubicado en la cuenca del río Garagoa y Lengupá los valores de humedad oscilan entre los 80 y 89%, sin muchas variaciones a lo largo del año, mas bien es constante.

En la **Figura 3-21** y la **Tabla 3-8** se pueden apreciar los resultados de esta variable en el área de estudio.

¹³ IDEAM. (2001). *Manual del Observador meteorológico. medellín: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.*

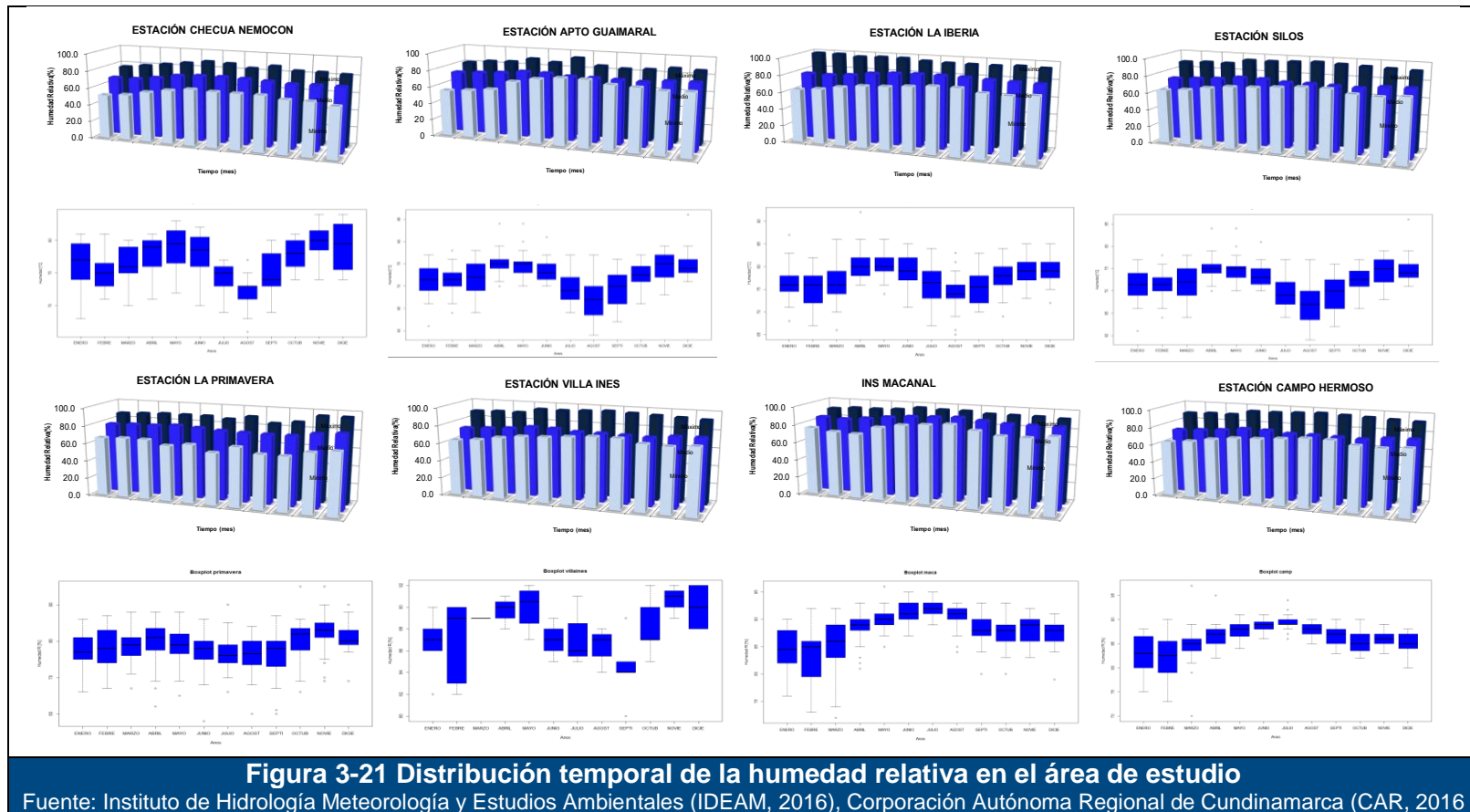


Tabla 3-8 Valores medios mensuales multianuales de Humedad relativa

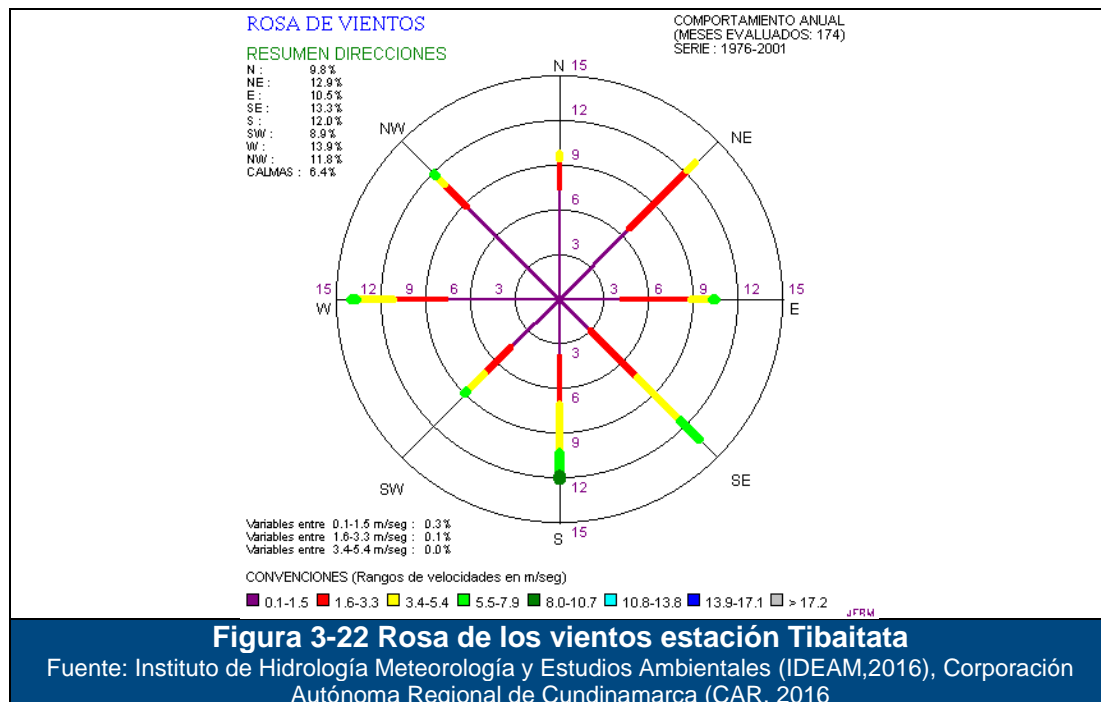
| Nombre | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Humedad Relativa(%) media mensual | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 67.1 | 67.2 | 70.1 | 74.2 | 75.7 | 76.0 | 75.4 | 74.3 | 72.8 | 73.5 | 73.5 | 71.7 | 72.7 |
| IBERIA LA | 77.3 | 76.9 | 78.5 | 81.9 | 83.5 | 84.2 | 84.3 | 83.8 | 82.5 | 81.8 | 81.1 | 81.1 | 81.4 |
| PRIMAVERA LA | 77.2 | 78.3 | 78.5 | 80.1 | 78.9 | 77.3 | 76.7 | 76.3 | 76.6 | 80.3 | 82.2 | 81.2 | 78.5 |
| APTO GUAYMARAL | 72.1 | 73.5 | 75.0 | 77.9 | 77.7 | 75.6 | 75.7 | 75.2 | 74.5 | 77.2 | 77.8 | 75.4 | 75.7 |
| SILOS | 83.0 | 82.0 | 84.0 | 87.0 | 88.0 | 90.0 | 90.0 | 89.0 | 87.0 | 86.0 | 86.0 | 85.0 | 86.0 |
| VILLA INES | 87.0 | 87.0 | 89.0 | 90.0 | 90.0 | 87.0 | 87.0 | 86.0 | 84.0 | 88.0 | 91.0 | 90.0 | 88.0 |
| INS MACANAL | 84.0 | 83.0 | 85.0 | 88.0 | 90.0 | 91.0 | 92.0 | 90.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 87.0 | 88.0 |
| CAMPO HERMOSO | 83.0 | 82.0 | 84.0 | 87.0 | 88.0 | 89.0 | 89.0 | 88.0 | 86.0 | 85.0 | 86.0 | 85.0 | 86.0 |
| Promedio | 73.4 | 74.0 | 75.5 | 78.5 | 79.0 | 78.3 | 78.0 | 77.4 | 76.6 | 78.2 | 78.7 | 77.4 | 77.1 |
| Humedad Relativa(%) media maxima mensual | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 76.0 | 79.0 | 82.0 | 85.0 | 88.0 | 87.0 | 83.0 | 87.0 | 83.0 | 83.0 | 82.0 | 80.0 | 79.8 |
| IBERIA LA | 98.0 | 98.0 | 96.0 | 97.0 | 97.0 | 95.0 | 94.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 94.0 | 96.0 | 95.7 |
| PRIMAVERA LA | 86.0 | 87.0 | 88.0 | 88.0 | 88.0 | 86.0 | 90.0 | 84.0 | 87.0 | 95.0 | 95.0 | 90.0 | 83.9 |
| APTO GUAYMARAL | 80.0 | 83.0 | 84.0 | 89.0 | 86.0 | 93.0 | 85.0 | 83.0 | 84.0 | 87.0 | 86.0 | 84.0 | 82.0 |
| SILOS | 88.0 | 89.0 | 89.0 | 94.0 | 94.0 | 95.0 | 96.0 | 95.0 | 94.0 | 93.0 | 92.0 | 88.0 | 96.0 |
| VILLA INES | 90.0 | 90.0 | 89.0 | 91.0 | 92.0 | 89.0 | 91.0 | 88.0 | 89.0 | 92.0 | 92.0 | 92.0 | 92.0 |
| INS MACANAL | 90.0 | 92.0 | 92.0 | 93.0 | 96.0 | 95.0 | 95.0 | 93.0 | 93.0 | 93.0 | 92.0 | 91.0 | 96.0 |
| CAMPO HERMOSO | 88.0 | 90.0 | 97.0 | 95.0 | 91.0 | 91.0 | 94.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 89.0 | 88.0 | 97.0 |
| Promedio | 85.0 | 86.8 | 87.5 | 89.8 | 89.8 | 90.3 | 88.0 | 87.0 | 87.0 | 90.0 | 89.3 | 87.5 | 85.3 |
| Humedad Relativa(%) media mínima mensual | | | | | | | | | | | | | |
| CHECUA-NEMOCON | 51.0 | 53.0 | 58.0 | 62.0 | 65.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 61.0 | 61.0 | 58.0 | 59.0 | 63.3 |
| IBERIA LA | 63.0 | 65.0 | 69.0 | 72.0 | 73.0 | 75.0 | 77.0 | 77.0 | 73.0 | 72.0 | 74.0 | 71.0 | 74.2 |
| PRIMAVERA LA | 66.0 | 67.0 | 67.0 | 62.0 | 65.0 | 58.0 | 66.0 | 60.0 | 60.0 | 66.0 | 69.0 | 69.0 | 64.1 |
| APTO GUAYMARAL | 60.0 | 59.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 46.0 | 61.0 | 57.0 | 57.0 | 61.0 | 58.0 | 57.0 | 60.8 |
| SILOS | 75.0 | 73.0 | 77.0 | 83.0 | 79.0 | 81.0 | 80.0 | 78.0 | 77.0 | 78.0 | 77.0 | 80.0 | 73.0 |
| VILLA INES | 82.0 | 82.0 | 89.0 | 88.0 | 87.0 | 85.0 | 85.0 | 84.0 | 80.0 | 85.0 | 89.0 | 88.0 | 80.0 |
| INS MACANAL | 76.0 | 73.0 | 72.0 | 81.0 | 85.0 | 87.0 | 89.0 | 84.0 | 80.0 | 80.0 | 83.0 | 79.0 | 72.0 |
| CAMPO HERMOSO | 75.0 | 73.0 | 70.0 | 82.0 | 84.0 | 86.0 | 86.0 | 85.0 | 83.0 | 82.0 | 83.0 | 80.0 | 70.0 |
| Promedio | 63.0 | 63.4 | 66.6 | 68.2 | 68.8 | 64.8 | 69.6 | 67.2 | 65.6 | 67.6 | 67.2 | 67.2 | 67.1 |

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica a 10 metros de altura, que es la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para

la medición y seguimiento del viento¹⁴. Siendo el movimiento natural de aire en la dirección de donde sopla, se expresa en grados a partir del norte geográfico, en el sentido de las manecillas del reloj. Las distintas direcciones del viento están referidas a la rosa de los vientos que señala los puntos cardinales. Es producido por diferencias de presión y temperatura.



El análisis del régimen del viento es de vital importancia ya que actúa como medio de transporte y propagación de los agentes contaminantes del medio ambiente como partículas suspendidas, gases, ruido, malos olores, entre otros. Para este estudio se tomó las rosas de vientos del régimen anual elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientalesde la estación Tibaitata, siendo representativa para el área ubicada en el departamento de Cundinamarca y la Estación Arg Macanal para representar los vientos en el departamento de Boyacá, a la altura del proyecto.

¹⁴ UPME e IDEAM. (2006). Atlas de viento y energía eólica de Colombia. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética y el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales.

Estas rosas indican la frecuencia de ocurrencia de los vientos en los ocho sectores de dirección (E, NE, W, NW, SE, S, N, SW) y en clases de velocidad, en donde se representa gráficamente la dirección de transporte dominante.

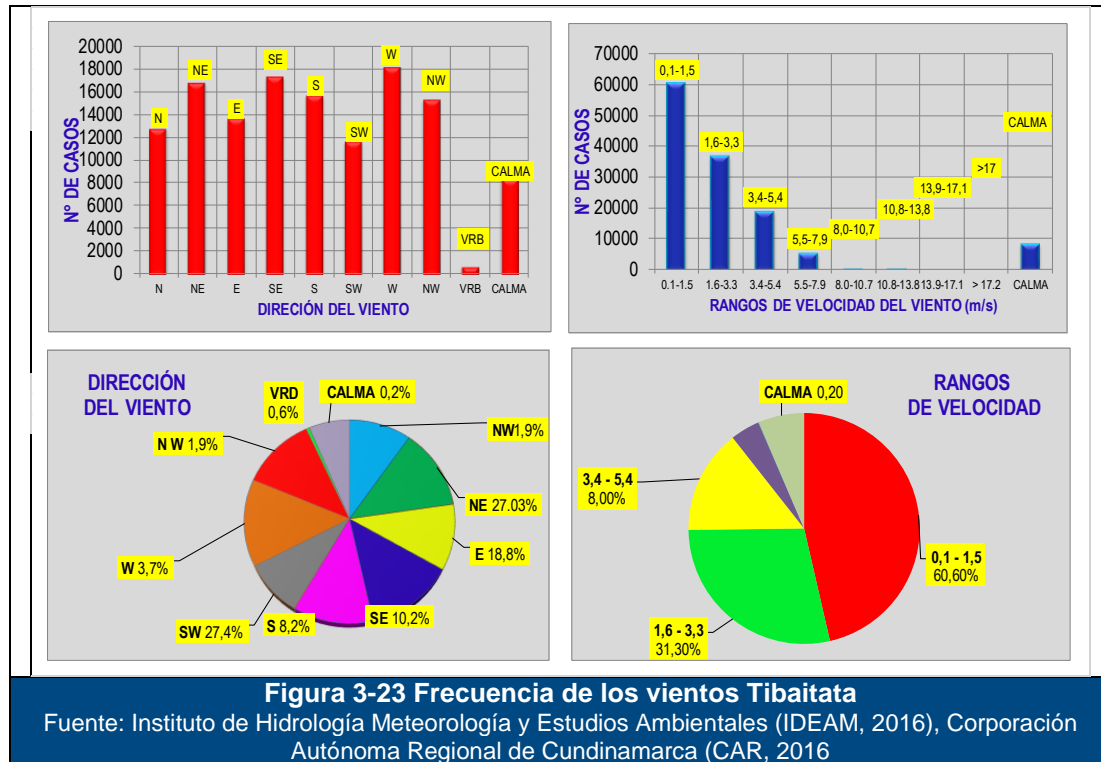


Tabla 3-9 Direcciones y rangos de velocidad N°. de casos encontrados

| VELDIR | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | VRB | CALMA | TOTAL |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|--------|
| 0.1-1.5 | 9655 | 8508 | 5474 | 3920 | 5103 | 5952 | 9831 | 11289 | 414 | 0 | 60146 |
| 1.6-3.3 | 2582 | 7329 | 6094 | 5800 | 4118 | 3247 | 4589 | 2866 | 176 | 0 | 36801 |
| 3.4-5.4 | 385 | 852 | 1766 | 5295 | 4189 | 2220 | 3274 | 1012 | 6 | 0 | 18999 |
| 5.5-7.9 | 57 | 27 | 316 | 2157 | 2109 | 189 | 391 | 91 | 0 | 0 | 5337 |
| 8.0-10.7 | 3 | 3 | 3 | 59 | 68 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 143 |
| 10.8-13.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 13.9-17.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| > 17.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALMA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8311 | 8311 |
| TOTAL | 12682 | 16719 | 13653 | 17231 | 15589 | 11611 | 18088 | 15259 | 596 | 8311 | 129739 |

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales

Tabla 3-10 Direcciones y rangos de velocidad de viento matriz de porcentaje

| VELDIR | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | VRB | CALMA | TOTAL |
|-----------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-------|-------|
| 0.1-1.5 | 7.4 | 6.6 | 4.2 | 3 | 3.9 | 4.6 | 7.6 | 8.7 | 0.3 | 0 | 46.4 |
| 1.6-3.3 | 2 | 5.6 | 4.7 | 4.5 | 3.2 | 2.5 | 3.5 | 2.2 | 0.1 | 0 | 28.4 |
| 3.4-5.4 | 0.3 | 0.7 | 1.4 | 4.1 | 3.2 | 1.7 | 2.5 | 0.8 | 0 | 0 | 14.6 |
| 5.5-7.9 | 0 | 0 | 0.2 | 1.7 | 1.6 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0 | 0 | 4.1 |
| 8.0-10.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| 10.8-13.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13.9-17.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| > 17.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CALMA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.4 | 6.4 |
| TOTAL | 9.8 | 12.9 | 10.5 | 13.3 | 12 | 8.9 | 13.9 | 11.8 | 0.5 | 6.4 | 100 |

Fuente: Datos Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

En el sector de Cundinamarca sobre la cuenca del río Bogotá, las velocidades son muy variables durante el transcurso del día y el patrón de comportamiento diario va cambiando durante el año. A pesar de esta gran variabilidad, los promedios anuales multianuales se encuentran entre los 1,3 a 3,6 m/s con una dirección predominante al Oeste (E) y al Noroeste (SE). Esta zona del país tiende a presentar los menores valores, tal como su posición relativa a la circulación general de la atmósfera en la zona tropical permite suponer¹⁵

¹⁵ IDEAM, UPME. (2005). ATLAS DE VIENTO Y ENERGIA EOLICA DE COLOMBIA. Bogotá: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM-.

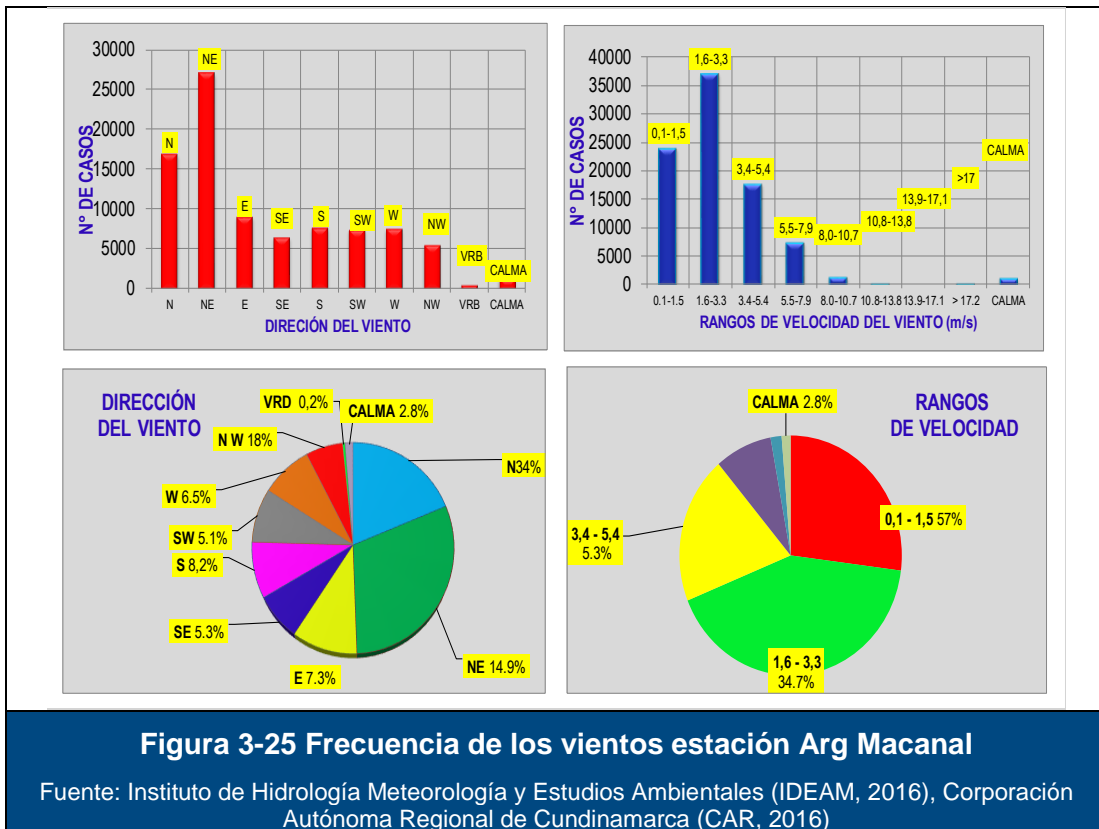
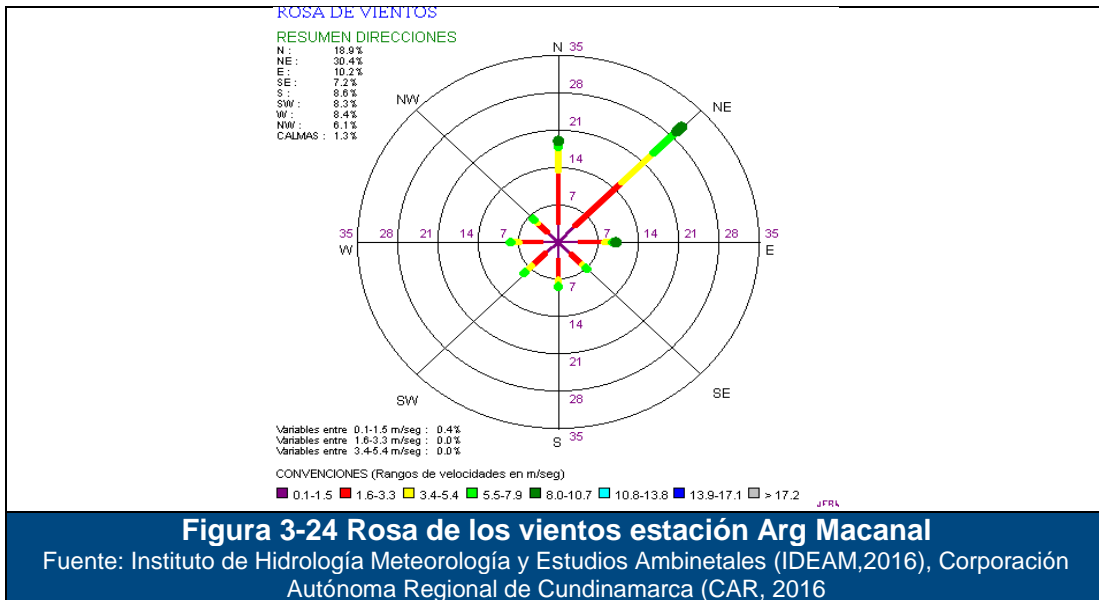


Tabla 3-11 Direcciones y rangos de velocidad (Número de casos encontrados)

| N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | VRB | CALMA | TOTAL |
|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|-------|
| 3168 | 3637 | 3404 | 2871 | 3124 | 2653 | 2693 | 2071 | 362 | 0 | 23983 |
| 8590 | 10198 | 3727 | 2557 | 3232 | 3080 | 3331 | 2310 | 22 | 0 | 37047 |
| 3964 | 6996 | 1352 | 799 | 1106 | 1335 | 1245 | 883 | 8 | 0 | 17688 |
| 946 | 5023 | 473 | 176 | 184 | 241 | 186 | 166 | 1 | 0 | 7396 |
| 104 | 1154 | 56 | 27 | 21 | 27 | 12 | 10 | 0 | 0 | 1411 |
| 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1191 | 1191 |
| 16772 | 27014 | 9012 | 6431 | 7667 | 7337 | 7467 | 5441 | 393 | 1191 | 88725 |

Fuente: Datos Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Tabla 3-12 Direcciones y rangos de velocidad (Matriz de porcentajes)

| N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | VRB | CALMA | TOTAL |
|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 3,6 | 4,1 | 3,8 | 3,2 | 3,5 | 3 | 3 | 2,3 | 0,4 | 0 | 27,00 |
| 9,7 | 11,5 | 4,2 | 2,9 | 3,6 | 3,5 | 3,8 | 2,6 | 0 | 0 | 41,80 |
| 4,5 | 7,9 | 1,5 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 1 | 0 | 0 | 19,90 |
| 1,1 | 5,7 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 | 8,30 |
| 0,1 | 1,3 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,60 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,3 | 1,30 |
| 18,9 | 30,4 | 10,2 | 7,2 | 8,6 | 8,3 | 8,4 | 6,1 | 0,4 | 1,3 | 100,0 |

Fuente: Datos Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

En el sector de Boyacá los promedios anuales multianuales se encuentran, igualmente, entre los 1,3 a 3,3 m/s. La velocidad media anual multianual, en términos generales, alcanzan a recibir plenamente la influencia de los vientos alisios del noreste durante el invierno del hemisferio norte, cuando la ZCIT alcanza su posición más sur.






➤ **Nubosidad media mensual y diaria multianual**

Según la definición de la Organización Meteorológica Mundial, una nube es un conjunto visible de minúsculas partículas de agua líquida o de hielo, o de ambas a la vez, en suspensión en la atmosfera¹⁶.

El principal parámetro meteorológico responsable de la producción de nubes, cuando hay movimientos verticales ascendentes es la humedad. En particular se requiere de alto contenido de vapor de agua, por lo menos en capas bajas y medias de la atmosfera para que se desarrollen nubes de tipo convectivo y orográfico.

La medición de las nubes se hace tomando la fracción de cielo cubierto en un lugar determinado y se expresa en octas u octavos de la bóveda celeste, respecto a la división imaginaria que realiza el observador de la estación meteorológica en ocho (8) partes y establece el área cubierta por nubes. Es típico que presente un comportamiento directamente proporcional a la precipitación, siendo más alta en los meses más lluviosos.

Tabla 3-13 Escala utilizada para cifrar la cantidad de nubes (Octas)

| CANTIDAD DE OCTAS | DESCRIPCIÓN | SÍMBOLO |
|-------------------|-------------------|---|
| 0 | Despejado |  |
| 1 a 2 | Escasa nubosidad |  |
| 3 a 4 | Nubosidad parcial |  |
| 5 a 7 | Nublado |  |
| 8 | Cubierto |  |

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales

Los datos de las series históricas, registradas en las estaciones que cuentan con este parámetro, indican que el promedio de nubosidad se ubica en cuatro, lo que significa que el cielo se encuentra nublado parcialmente durante gran parte del año en el sector de la cuenca del río Bogotá, por su parte hacia el departamento de Cundinamarca se ubica en los 5 octas; lo que significa que se encuentra nublado la mayor parte del año (ver Tabla 3-14).

¹⁶ Retallack, L. (1973). *Meteorología. Compendio y apunte del personal meteorológico*, 266.

Tabla 3-14 Valores de nubosidad modal media mensual multianual (Octas)

| Estación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| CHECUA-NEMOCON | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| IBERIA LA | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| PRIMAVERA LA | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| APTO GUAYMARAL | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| INST AGR MACANAL | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| CAMPOHERMOSO | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Fuente: Datos Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales



Figura 3-26 Representación de la Nubosidad

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales

A nivel general esta clasificación representa nubes bajas consideradas cúmulos. Estas nubes tienen generalmente una base llana y horizontal. Se presentan en conglomerados sueltos, de color blanco, brillantes cuando están iluminados por el sol y con una base un poco oscura. Se desarrollan verticalmente en forma de cúpulas, prominencias o torres, siendo la parte superior muy semejante a una coliflor. Esta representación se puede apreciar en la Figura 3-26.

➤ **Brillo solar**

La determinación de la caracterización climática depende del balance radiactivo y la distribución de los valores de insolación o brillo solar; está relacionada en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación en una región. Su cuantificación se determina por el número de horas que incide sobre la superficie; y los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año, dependiendo de

factores como: la posición del sol, la altitud, la latitud, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre¹⁷.

El brillo solar es el número de horas que el sol ilumina durante el día, se mide con un actinógrafo que es un instrumento que funciona mediante un sensor termo mecánico, protegido por una cúpula de vidrio, conformado por un arreglo bimetálico de dos superficies, una pintada de negro y la otra blanca; el cual registra los valores de la radiación solar incidente mediante el trazo de una gráfica en un tambor movido por un mecanismo de reloj. Los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año. Se presenta los mayores niveles cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación es recibida a estas horas), mientras que cuando el ángulo del Sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la tierra debido a que atraviesa una distancia más larga de la atmósfera. En la Tabla 3-15 y en la Figura 3-27, se presentan los registros medios de las estaciones que cuentan con esta variable, en el área de estudio.

Tabla 3-15 Valores medios mensuales multianuales de brillo solar (Horas)

| Estación | EN E | FE B | MA R | AB R | MA Y | JU N | JU L | AG O | SE P | OC T | NO V | DI C | ANUA L |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Humedad Relativa media (%) | | | | | | | | | | | | | |
| TIBAITATA | 184 | 148 | 136 | 110 | 114 | 118 | 138 | 143 | 132 | 125 | 127 | 152 | 1631 |
| IBERIA LA | 171 | 143 | 122 | 92 | 86 | 71 | 83 | 95 | 99 | 109 | 122 | 152 | 111 |
| PRIMAVERA LA | 178 | 142 | 128 | 106 | 112 | 117 | 134 | 126 | 118 | 113 | 139 | 152 | 130 |
| APTO GUAYMARAL | 158 | 136 | 118 | 88 | 89 | 93 | 106 | 104 | 104 | 105 | 120 | 131 | 112 |
| PROVIDENCIA GJA | 156 | 127 | 94 | 74 | 73 | 78 | 86 | 89 | 89 | 99 | 110 | 107 | 1182 |
| SILOS | 192 | 161 | 142 | 106 | 110 | 75 | 93 | 103 | 118 | 134 | 140 | 172 | 1554 |
| INST AGR MACANAL | 182 | 142 | 116 | 93 | 95 | 79 | 84 | 90 | 121 | 138 | 142 | 170 | 1453 |
| Promedio | 173 | 142 | 126 | 99 | 100 | 100 | 115 | 117 | 113 | 113 | 127 | 152 | 496 |
| Humedad Relativa máxima (%) | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre | EN E | FE B | MA R | AB R | MA Y | JU N | JU L | AG O | SE P | OC T | NO V | DI C | ANUA L |
| TIBAITATA | 260 | 228 | 189 | 160 | 159 | 153 | 197 | 180 | 177 | 169 | 181 | 232 | 260 |
| IBERIA LA | 259 | 211 | 186 | 133 | 134 | 140 | 127 | 173 | 199 | 174 | 191 | 232 | 137 |
| PRIMAVERA LA | 248 | 231 | 178 | 165 | 155 | 171 | 186 | 169 | 166 | 166 | 180 | 222 | 164 |
| APTO GUAYMARAL | 236 | 213 | 181 | 156 | 165 | 151 | 177 | 153 | 161 | 164 | 168 | 221 | 171 |

¹⁷ IDEAM. (2005). Atlas Climatológico para Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

| Estación | EN E | FE B | MA R | AB R | MA Y | JU N | JU L | AG O | SE P | OC T | NO V | DI C | ANUA L |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| PROVIDENCIA GJA | 215 | 200 | 142 | 118 | 107 | 115 | 123 | 113 | 127 | 136 | 152 | 158 | 215 |
| SILOS | 263 | 216 | 212 | 144 | 150 | 110 | 142 | 162 | 153 | 173 | 183 | 252 | 263 |
| INST AGR MACANAL | 257 | 210 | 170 | 136 | 125 | 131 | 114 | 137 | 147 | 175 | 183 | 221 | 257 |
| Promedio | 251 | 221 | 183 | 153 | 153 | 154 | 172 | 168 | 176 | 168 | 180 | 225 | 183 |
| Humedad Relativa mínima (%) | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre | EN E | FE B | MA R | AB R | MA Y | JU N | JU L | AG O | SE P | OC T | NO V | DI C | ANUA L |
| TIBAITATA | 121 | 78 | 79 | 60 | 70 | 62 | 86 | 114 | 87 | 63 | 75 | 85 | 60 |
| IBERIA LA | 85 | 28 | 50 | 39 | 51 | 15 | 15 | 39 | 59 | 40 | 11 | 67 | 48 |
| PRIMAVERA LA | 107 | 73 | 13 | 43 | 51 | 26 | 23 | 29 | 55 | 36 | 90 | 73 | 95 |
| APTO GUAYMARAL | 44 | 40 | 20 | 1 | 34 | 49 | 33 | 4 | 44 | 43 | 54 | 33 | 69 |
| PROVIDENCIA GJA | 102 | 57 | 43 | 24 | 48 | 39 | 43 | 63 | 53 | 69 | 68 | 37 | 24 |
| SILOS | 88 | 83 | 104 | 45 | 37 | 1 | 29 | 34 | 55 | 55 | 98 | 112 | 1 |
| INST AGR MACANAL | 105 | 89 | 70 | 46 | 54 | 41 | 41 | 60 | 71 | 82 | 102 | 116 | 41 |
| Promedio | 89 | 55 | 41 | 36 | 51 | 38 | 39 | 46 | 61 | 45 | 57 | 64 | 68 |

Fuente: Datos Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

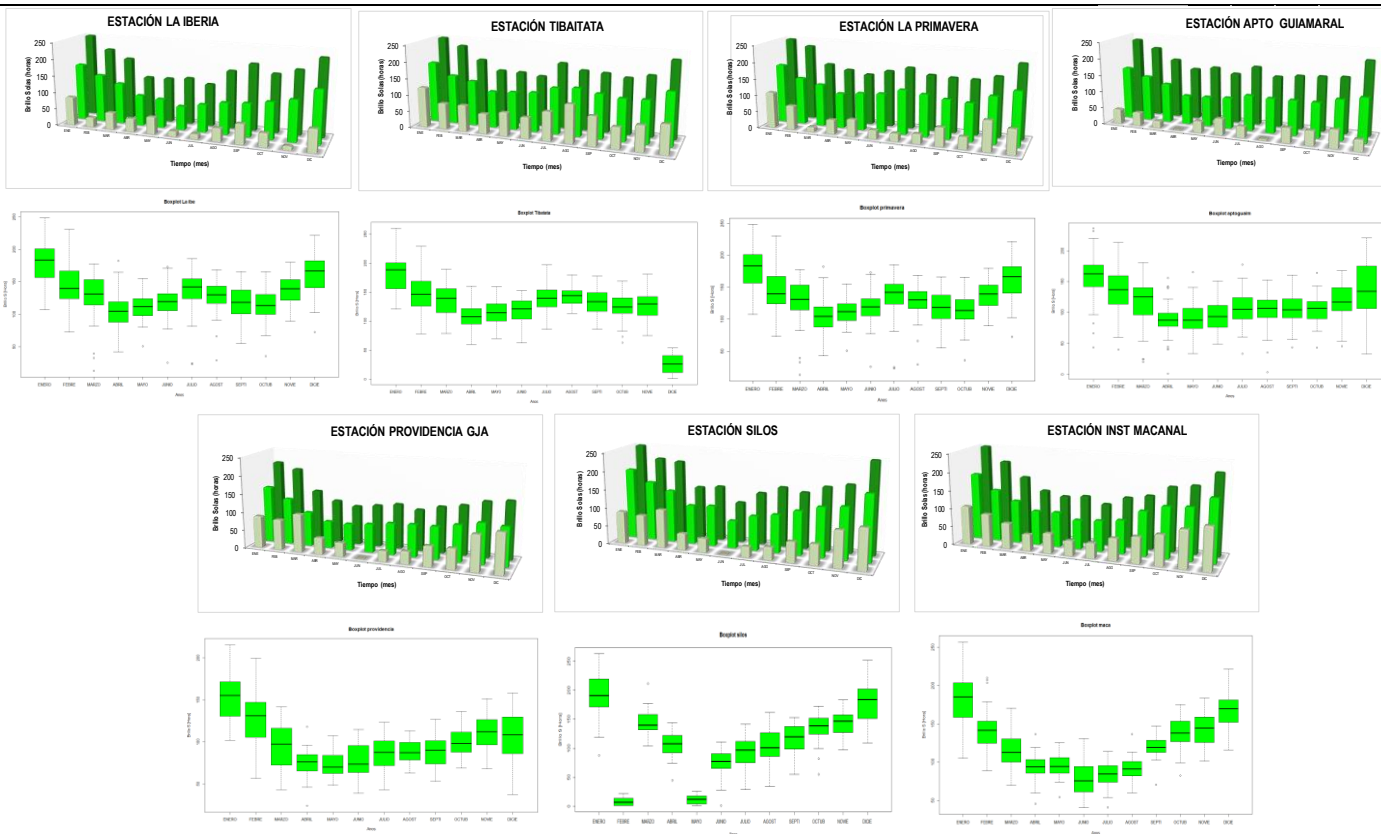


Figura 3-27 Distribución temporal del brillo solar en el area de estudio

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ Evaporación

La evaporación es la medida de la cantidad de agua que cambia del estado líquido a gaseoso y pasa a la atmósfera como vapor de agua, representando un indicador natural del balance hídrico. Permite estimar las deficiencias o excesos de humedad en el suelo cuando está a capacidad de campo¹⁸.

En el sector de Cundinamarca se puede observar que los mayores valores se presentan en los meses de enero a marzo y de agosto a septiembre, con valores de hasta 177 mm, similar al comportamiento de las temperaturas de la zona, con pocas variaciones a lo largo del año. Los picos más bajos se presentan en los meses de abril a junio con descensos que no superan el máximo valor reportado para el área de estudio.

Por su parte en el sector de Boyacá se aprecia un régimen bimodal bien marcado opuesto al régimen de lluvias con hasta 1066 mm en el año; en este sector se dan los mayores registros de evaporación por ser una zona con temperaturas cercanas a los 24°C.

En la Tabla 3-16 se muestran los valores mensuales multianuales (mm/año) registrados en las estaciones con esta variable.

Tabla 3-16 Evaporación media mensual multianual (mm/año)

| Estación | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Evaporación media (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| NEMOCON | 127 | 122 | 120 | 102 | 95 | 95 | 99 | 103 | 103 | 104 | 98 | 112 | 107 |
| IBERIA | 88 | 82 | 87 | 73 | 65 | 58 | 59 | 64 | 63 | 70 | 72 | 77 | 71 |
| PRIMAVERA | 90 | 88 | 94 | 81 | 81 | 81 | 77 | 82 | 78 | 82 | 83 | 83 | 83 |
| GUAIMARAL | 92 | 83 | 85 | 73 | 74 | 67 | 74 | 73 | 78 | 76 | 76 | 82 | 78 |
| TIBAITATA | 97 | 91 | 95 | 81 | 78 | 79 | 87 | 92 | 87 | 83 | 77 | 85 | 1031 |
| PROVIDENCIA GRANJA | 92 | 76 | 85 | 78 | 78 | 73 | 66 | 85 | 83 | 77 | 77 | 80 | 947 |
| SILOS | 96 | 97 | 99 | 89 | 87 | 86 | 85 | 90 | 87 | 92 | 88 | 95 | 1092 |
| MACANAL | 120 | 116 | 108 | 94 | 91 | 73 | 77 | 82 | 93 | 109 | 97 | 111 | 1171 |
| INST AGR MACANAL | 108 | 97 | 93 | 77 | 74 | 59 | 63 | 70 | 84 | 93 | 90 | 99 | 1006 |
| CAMPOHERMOSO | 109 | 100 | 96 | 80 | 81 | 74 | 71 | 72 | 86 | 100 | 96 | 102 | 1066 |
| Promedio | 99 | 94 | 97 | 82 | 79 | 75 | 77 | 80 | 81 | 83 | 82 | 89 | 85 |
| Evaporación media máxima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| NEMOCON | 174 | 169 | 196 | 141 | 125 | 125 | 134 | 137 | 136 | 151 | 129 | 149 | 133 |

¹⁸ IDEAM. (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

| Estación | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Evaporación media (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| IBERIA | 123 | 117 | 123 | 106 | 92 | 94 | 90 | 108 | 95 | 102 | 102 | 103 | 91 |
| PRIMAVERA | 133 | 123 | 127 | 133 | 148 | 142 | 104 | 113 | 114 | 125 | 110 | 124 | 107 |
| GUAIMARAL | 128 | 108 | 117 | 104 | 112 | 105 | 98 | 100 | 105 | 104 | 102 | 114 | 94 |
| TIBAITATA | 139 | 129 | 137 | 114 | 117 | 116 | 160 | 127 | 124 | 124 | 109 | 117 | 160 |
| PROVIDENCIA GRANJA | 93 | 84 | 89 | 94 | 84 | 76 | 66 | 102 | 91 | 83 | 77 | 82 | 102 |
| SILOS | 127 | 124 | 126 | 105 | 100 | 101 | 104 | 103 | 106 | 120 | 100 | 104 | 127 |
| MACANAL | 158 | 158 | 151 | 137 | 143 | 125 | 159 | 162 | 141 | 177 | 157 | 170 | 177 |
| INST AGR MACANAL | 141 | 133 | 122 | 104 | 93 | 86 | 90 | 116 | 103 | 109 | 103 | 180 | 180 |
| CAMPOHERMOSO | 138 | 149 | 124 | 95 | 106 | 102 | 113 | 91 | 114 | 118 | 136 | 128 | 149 |
| Promedio | 139 | 129 | 141 | 121 | 119 | 116 | 107 | 115 | 113 | 121 | 111 | 122 | 106 |
| Evaporación media mínima (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| NEMOCON | 63 | 75 | 78 | 71 | 47 | 58 | 65 | 49 | 66 | 45 | 60 | 3 | 84 |
| IBERIA | 54 | 45 | 47 | 41 | 29 | 14 | 21 | 11 | 37 | 13 | 15 | 40 | 47 |
| PRIMAVERA | 40 | 28 | 28 | 39 | 21 | 25 | 14 | 16 | 20 | 4 | 18 | 20 | 30 |
| GUAIMARAL | 22 | 40 | 5 | 26 | 11 | 7 | 30 | 10 | 19 | 18 | 32 | 38 | 48 |
| TIBAITATA | 45 | 35 | 48 | 44 | 42 | 33 | 53 | 47 | 15 | 38 | 32 | 33 | 15 |
| PROVIDENCIA GRANJA | 91 | 71 | 77 | 60 | 72 | 70 | 66 | 67 | 75 | 71 | 77 | 78 | 60 |
| SILOS | 75 | 73 | 83 | 78 | 76 | 76 | 63 | 77 | 72 | 79 | 75 | 86 | 63 |
| MACANAL | 52 | 62 | 43 | 41 | 44 | 40 | 31 | 49 | 58 | 72 | 46 | 70 | 31 |
| INST AGR MACANAL | 86 | 66 | 58 | 59 | 55 | 32 | 34 | 48 | 65 | 68 | 73 | 77 | 32 |
| CAMPOHERMOSO | 109 | 100 | 96 | 80 | 81 | 74 | 71 | 72 | 86 | 100 | 96 | 102 | 1066 |
| Promedio | 45 | 47 | 39 | 44 | 27 | 26 | 33 | 22 | 35 | 20 | 31 | 25 | 52 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

A continuación en la Figura 3-28 se presentan la evaporación solar para toda el área de estudio.

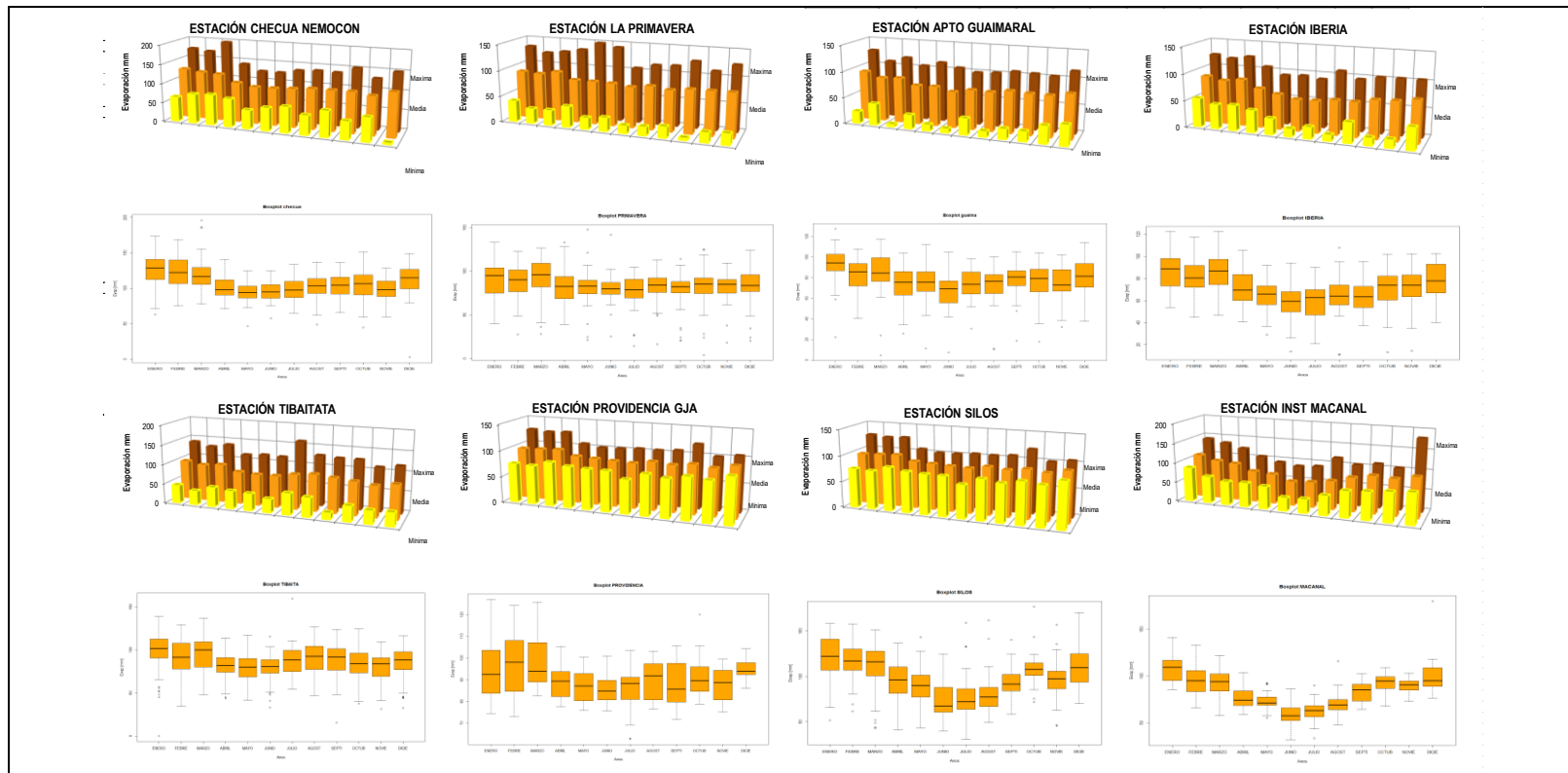


Figura 3-28 Evaporación solar en el área de estudio

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ Presión atmosférica

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona, más alta es la presión, lo que significa que la presión atmosférica cambia con la altitud a razón, en las capas atmosféricas más bajas, de un (1) mm Hg cada 10 metros o un (1) mb o hPa cada ocho (8) metros. Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes, la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar. Este ajuste es conocido como presión barométrica, es decir, la presión barométrica es la presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local.

La presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas. Debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar, hace de ésta una variable fundamental que varía significativamente en latitudes medias y altas.

Para el área de estudio se ha estimado el valor de la presión atmosférica a partir de la ecuación recomendada por la FAO ¹⁹, que relaciona el cambio de presión con la altitud; dicha ecuación se presenta a continuación:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26}$$

Dónde:

P = Presión atmosférica (kPa)

Z = altitud del lugar (m.s.n.m)

¹⁹ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO (1998)). Estimaciones utilizadas en la fórmula de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración y su variable implícita la presión atmosférica.

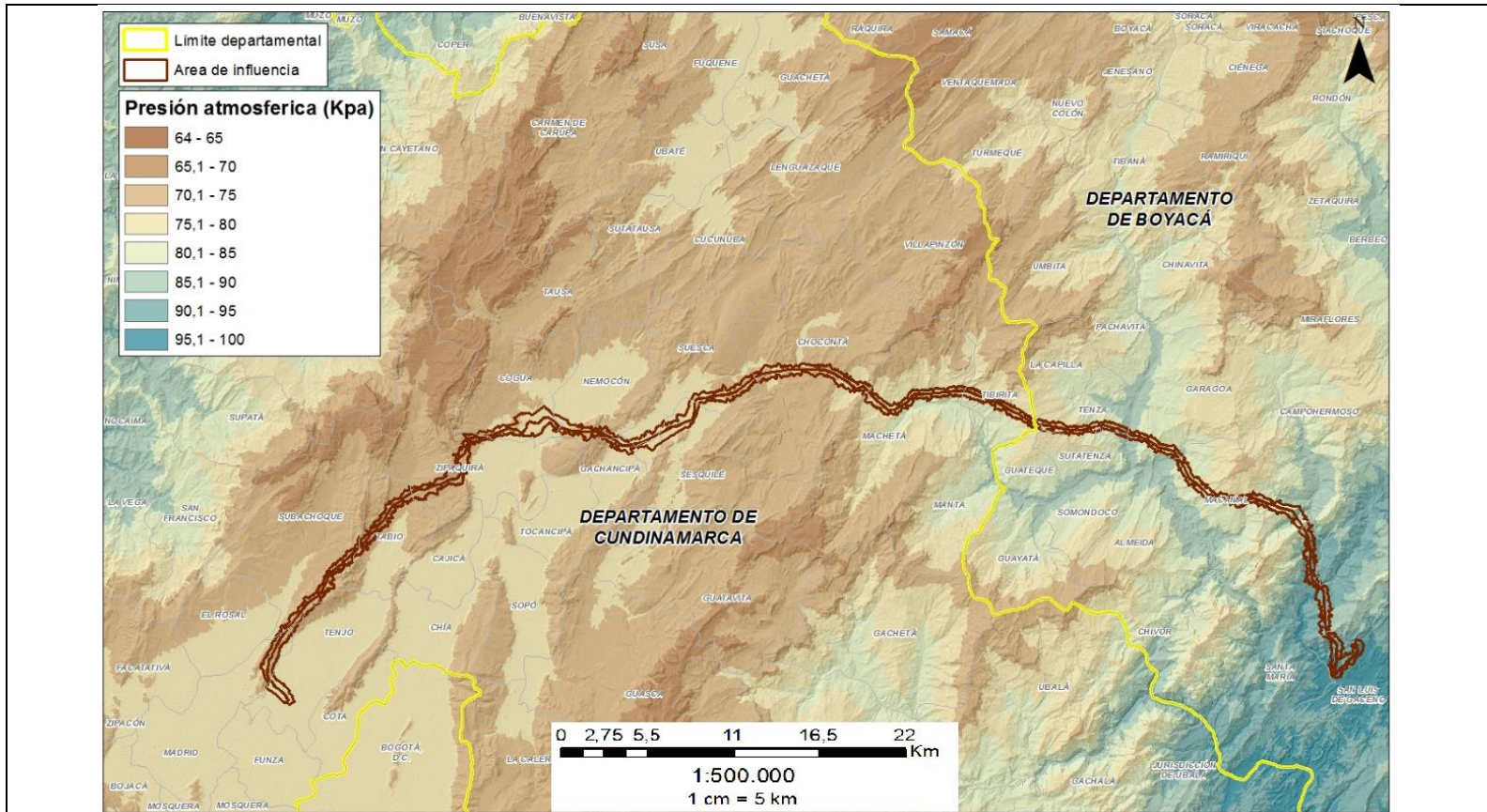


Figura 3-29 Presión atmosférica

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

Como se evidencia en la Figura 3-30, Figura 3-31, Figura 3-32 y Figura 3-33 en general, la presión atmosférica disminuye a medida que asciende la altura sobre el nivel del mar, con valores que varían desde 60 a 100kPa. Las altas presiones también están relacionadas con la temperatura, ya que al estar el aire bajo mayor presión, esta se calienta, mientras que en el interior el aire presenta un ascenso a medida que este se adentra al continente, sufriendo procesos de enfriamiento por disminución de la presión atmosférica, fomentando la presencia de eventos de condensación y formación de nubes.

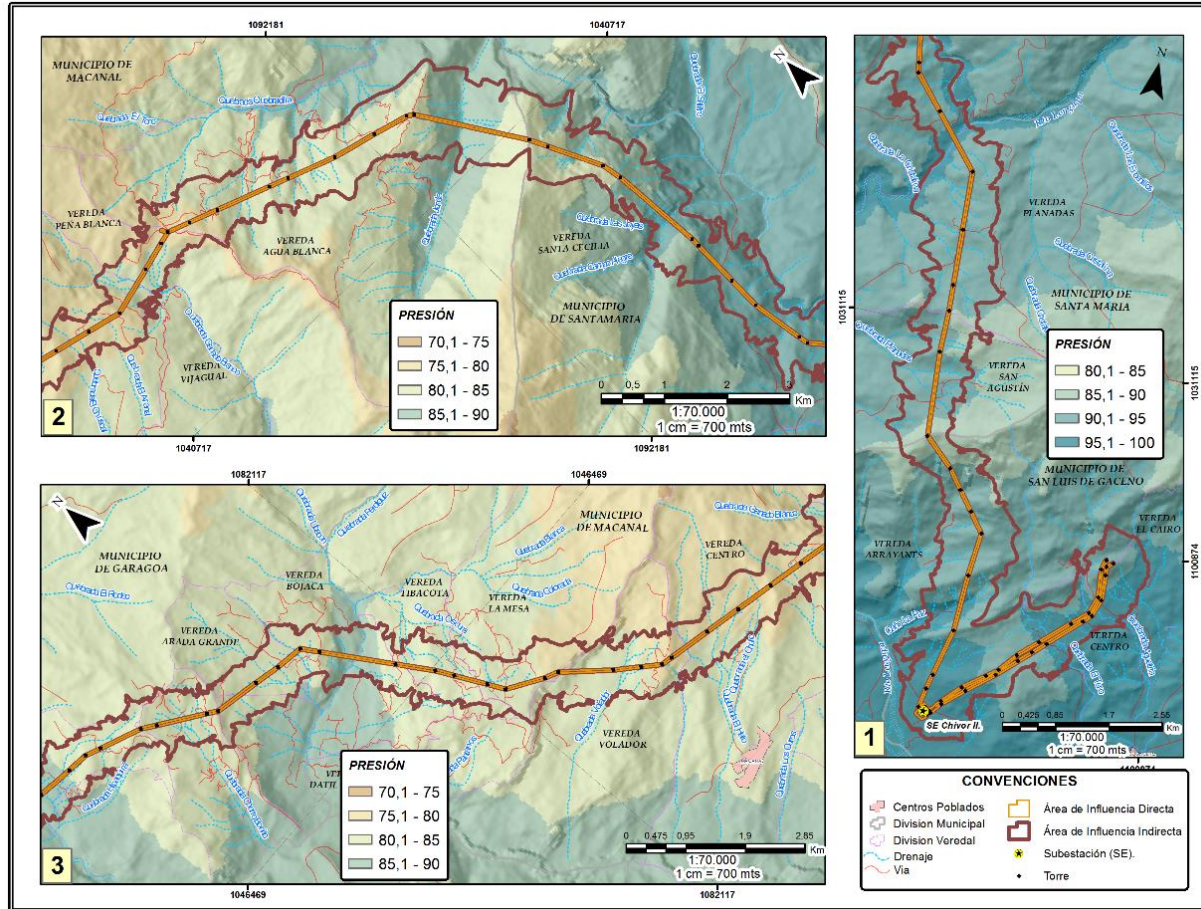
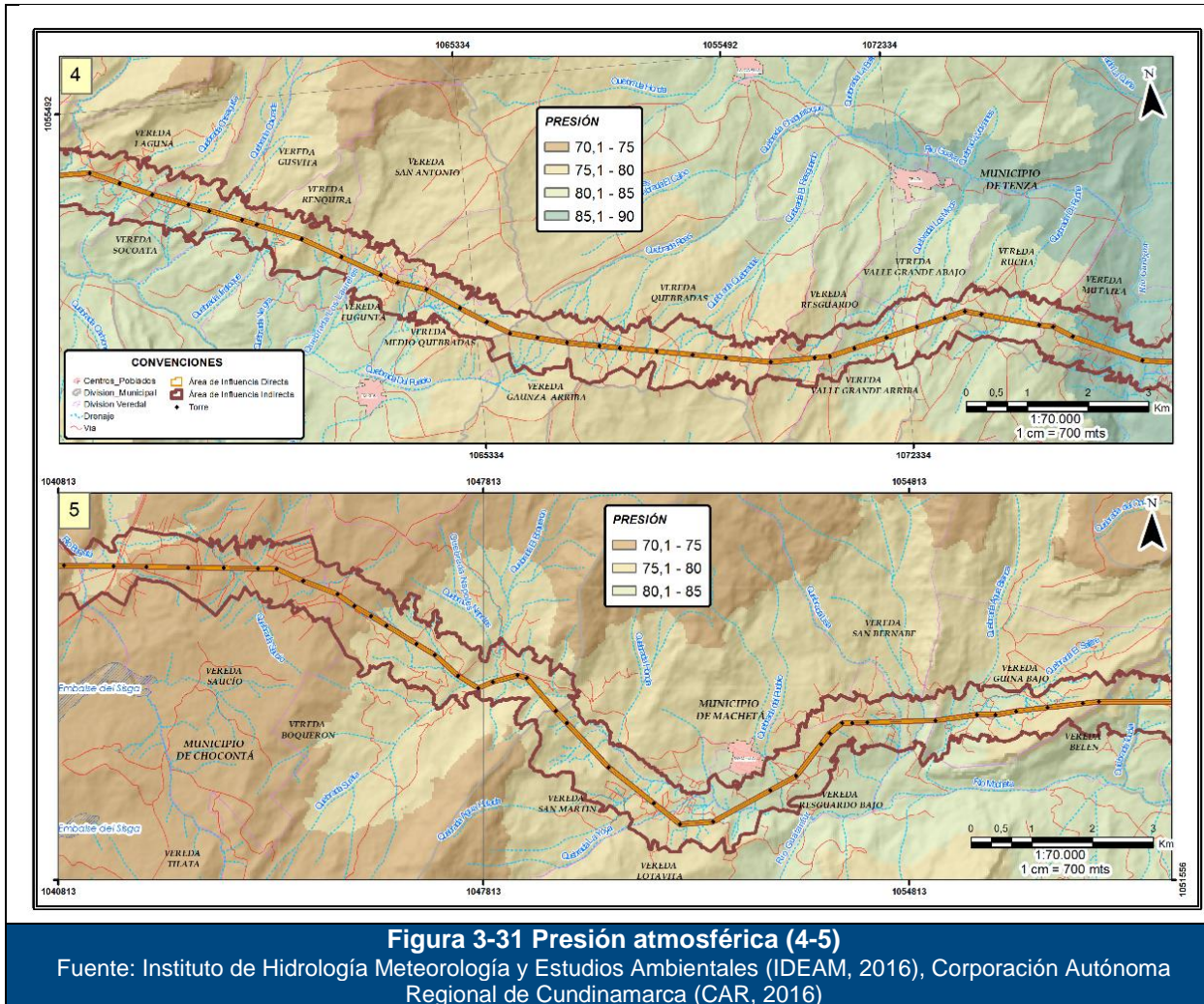
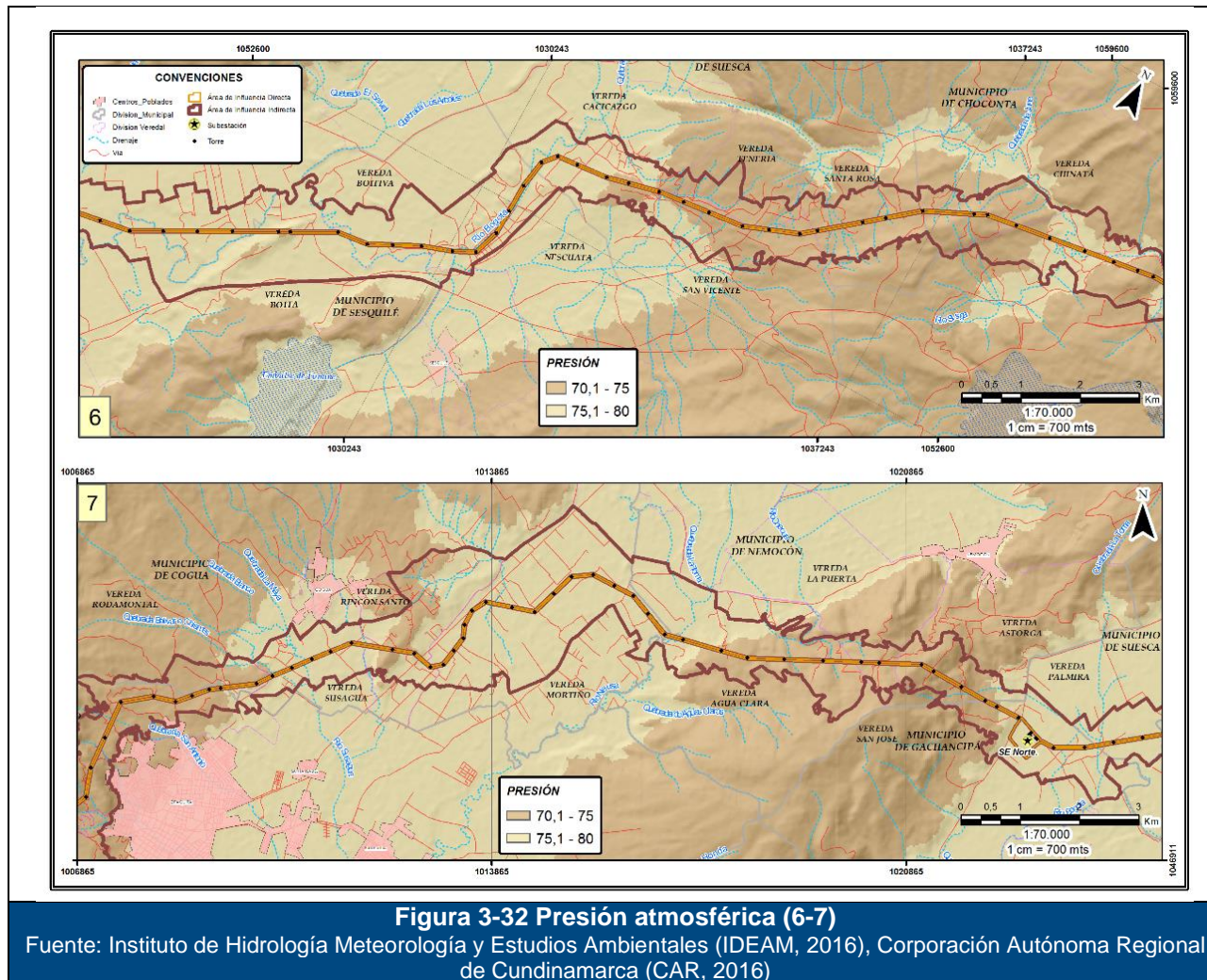
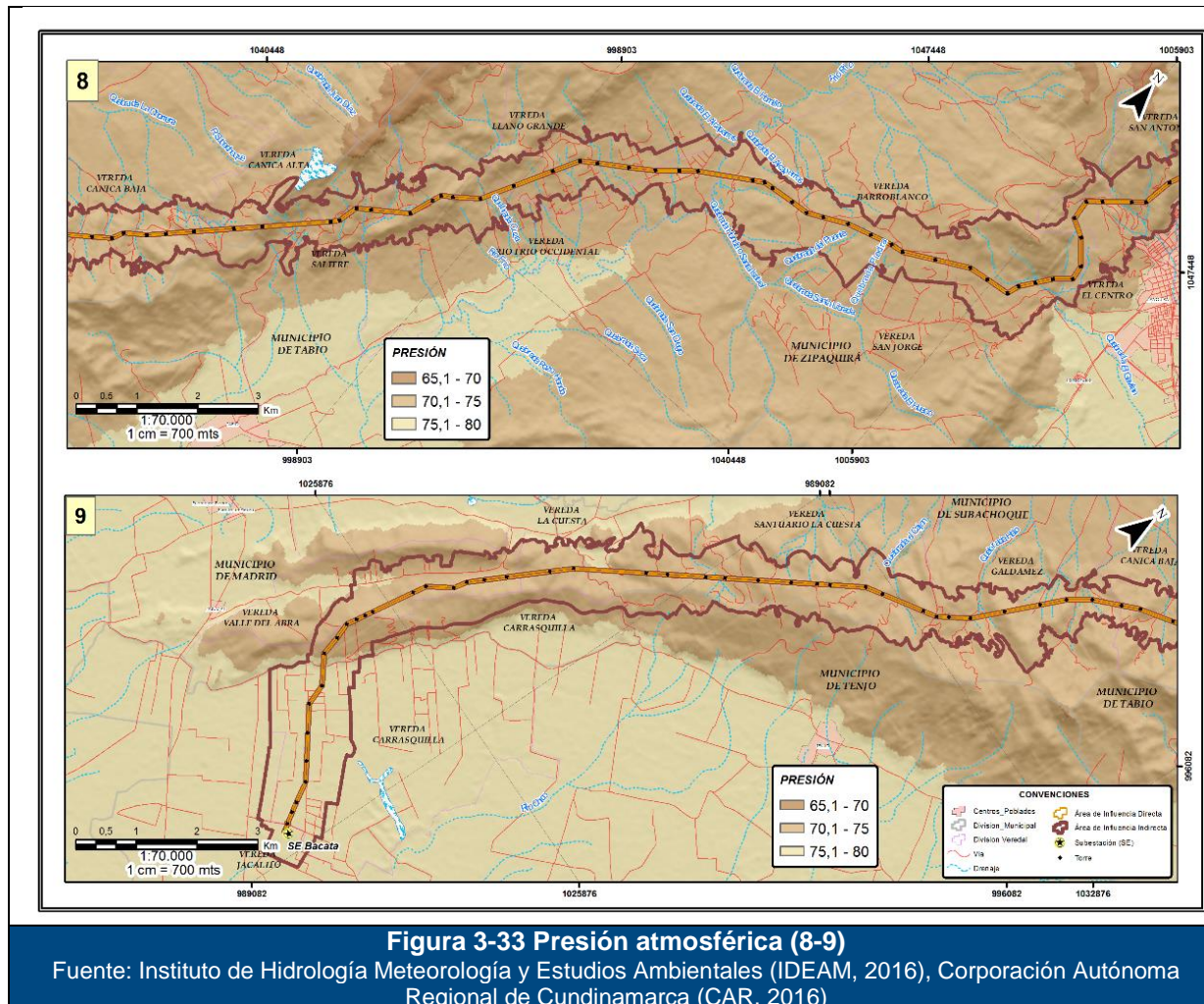


Figura 3-30 Presión atmosférica (1-3)
Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)







➤ Balance Hídrico

La lluvia como única fuente de alimentación de los procesos hidrológicos en una cuenca hidrológica, es uno de los componentes más importantes dentro de la ecuación de balance. Permite determinar el comportamiento de la disponibilidad del agua, la evapotranspiración, las épocas de recarga de agua, el déficit y el exceso de agua. A través del conocimiento de la evaporación potencial, del que se tienen registros de precipitación, se puede establecer el balance hídrico anual. Así es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo.

De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en los que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa.

Para calcular el balance hídrico y la evapotranspiración potencial media anual en el área, se consideran la evapotranspiración potencial ajustada y la precipitación.

Thornthwaite hizo una regresión, entre mediciones de evapotranspiración y temperatura, y estableció una fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, que dependa de la temperatura media mensual, del índice calórico anual y de la latitud del lugar, con la siguiente expresión:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial en mm

I: índice calórico, constante para la región dada, es la suma de los índices calóricos mensuales i ,

I: función de la temperatura media normal mensual

$$I = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Dónde:

t: temperatura media mensual en °C

a: exponente empírico, función de I

$$a: (6,75 \times 10^{-7})(I^3) - (7,71 \times 10^{-5})(I^2) + (1,79 \times 10^{-2})(I) + 0,49239$$

Teniendo en cuenta que estas condiciones varían con cada época del año y con la latitud del lugar, se debe realizar una corrección a la ETP por medio de un factor

correctivo K , aplicado a cada uno de los valores de EPT obtenidos. El factor de corrección K se determina mediante la siguiente expresión:

A continuación se presenta el balance hídrico en el sector del departamento de Cundinamarca, representado por las estaciones Providencia, Checua, Primavera y La Iberia.

En estos balances las escasas lluvias y el alto valor del índice de evapotranspiración hacen que se presente un déficit de recurso hídrico principalmente en los primeros meses del año, el resto del tiempo se registra almacenamiento y exceso, el cual se define porque la evapotranspiración es menor que la precipitación.

Sin embargo, las lluvias (entre 500 y 1000mm año) determinan que en el área se dan zonas muy secas, por lo tanto la oferta hídrica es más limitada en este sector del país.

Tabla 3-17 Balance hídrico estación Providencia

| MESES | ENE | FEB | MA | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA |
|-----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tmed | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.65 |
| Pmed | 29.2 | 46.8 | 79.0 | 105.1 | 101.6 | 66.5 | 56.0 | 46.7 | 62.4 | 103.6 | 88.8 | 57.5 | 843.2 |
| Ind.Calor | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 56 |
| ETPp | 52 | 50 | 58 | 59 | 63 | 59 | 59 | 58 | 55 | 56 | 54 | 54 | 677 |
| ETPpc | -23 | -3 | 21 | 46 | 39 | 7 | -3 | -11 | 7 | 48 | 35 | 4 | |
| Almacen. | 77 | 74 | 95 | 100 | 100 | 100 | 97 | 85 | 92 | 100 | 100 | 100 | |
| Var.Alm. | -22.9 | -3.09 | 21.4 | 4.624 | 0 | 0 | -3.17 | -11.4 | 7.031 | 7.52 | 0 | 0 | |
| Exceso | 0 | 0 | 0 | 41.17 | 38.84 | 7.221 | 0 | 0 | 0 | 40.16 | 35.09 | 3.76 | 166.2 |
| Déficit | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ETPr | 52.13 | 49.89 | 57.6 | 59.3 | 62.76 | 59.28 | 59.17 | 58.08 | 55.37 | 55.92 | 53.71 | 53.74 | 1358 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

Tabla 3-18 Balance hídrico estación Checua

| MESES | ENE | FEB | MA | AB | MA | JU | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Tmed | 13.1 | 13.5 | 13.9 | 13.9 | 13.7 | 13.2 | 12.9 | 13.0 | 13.1 | 13.3 | 13.5 | 13.1 | 14.3 |
| Pmed | 23.1 | 35.2 | 53.1 | 84.1 | 74.7 | 47.7 | 40.2 | 38.2 | 42.0 | 89.4 | 75.8 | 34.2 | 637.9 |

| MESES | ENE | FEB | MA | AB | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA |
|-----------|--------|--------|-------|------|------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|
| Ind.Calor | 4.3 | 4.5 | 4.7 | 4.7 | 4.6 | 4.3 | 4.2 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.3 | 53.1 |
| ETPp | 52.4 | 50.2 | 59.3 | 59.2 | 61.4 | 56.6 | 56.6 | 55.9 | 53.9 | 55.4 | 53.5 | 52.5 | 667.1 |
| ETPpc | (29.3) | (15.1) | (6.1) | 24.9 | 13.3 | (8.9) | (16.5) | (17.7) | (11.9) | 34.1 | 22.3 | (18.3) | |
| Almacen. | 52.4 | 37.4 | 31.3 | 56.2 | 69.5 | 60.5 | 44.1 | 26.4 | 14.5 | 100.0 | 100.0 | 81.7 | |
| Var.Alm. | (29.3) | (15.1) | (6.1) | 24.9 | 13.3 | (8.9) | (16.5) | (17.7) | (11.9) | 85.5 | - | (18.3) | |
| Exceso | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 22.3 | - | 22.3 |
| Déficit | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ETPr | 52.4 | 50.2 | 59.3 | 59.2 | 61.4 | 56.6 | 56.6 | 55.9 | 53.9 | 55.4 | 53.5 | 52.5 | 1,358.4 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

Tabla 3-19 Balance hídrico estación Primavera

| MESES | ENE | FEB | MA | ABR | MAY | JUN | JUL | AG | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tmed | 23 | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 | 17 | 15 | 16 | 15 | 15 | 14 | 16.78 |
| Pmed | 34.2 | 41.4 | 72.0 | 108.2 | 102.1 | 67.6 | 55.3 | 56.6 | 72.5 | 111.9 | 89.8 | 45.5 | 857.1 |
| Ind.Calor | 10 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 71 |
| ETPp | 104 | 59 | 61 | 61 | 60 | 55 | 69 | 59 | 61 | 55 | 50 | 45 | 741.2 |
| ETPpc | -70 | -18 | 11 | 47 | 42 | 13 | -14 | -3 | 11 | 57 | 39 | 0 | |
| Almacen. | 0 | 0 | 11 | 58 | 100 | 100 | 86 | 84 | 95 | 100 | 100 | 100 | |
| Var.Alm | -100 | 0 | 11.19 | 46.85 | 41.96 | 0 | -13.6 | -2.78 | 11.08 | 5.313 | 0 | 0 | |
| Exceso | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.273 | 12.51 | 0 | 0 | 0 | 51.84 | 39.31 | 0.082 | 104 |
| Déficit | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.89 |
| ETPr | 104.5 | 41.36 | 60.79 | 61.4 | 59.82 | 55.12 | 68.95 | 59.35 | 61.42 | 54.8 | 50.44 | 45.42 | 1358 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

Tabla 3-20 Balance hídrico estación La Iberia

| MESES | ENE | FEB | MA | ABR | MAY | JUN | JUL | AG | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Tmed | 17 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 17 | 15.68 |
| Pmed | 17.9 | 26.2 | 51.9 | 92.9 | 100.3 | 107.5 | 110.8 | 88.7 | 66.1 | 77.4 | 62.3 | 29.1 | 831.1 |

| MESES | ENE | FEB | MA R | ABR | MAY | JUN | JUL | AG O | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUA L |
|-----------------|-------|------|---------|------|------|------|------|---------|------|------|------|-------|-----------|
| Ind.Calor | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 63 |
| ETPp | 67 | 54 | 57 | 58 | 61 | 58 | 62 | 57 | 51 | 55 | 53 | 69 | 704.2 |
| ETPpc | -50 | -28 | -5 | 35 | 39 | 50 | 49 | 31 | 15 | 22 | 9 | -40 | |
| Almacena. n. | 0 | 0 | 0 | 35 | 74 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 60 | |
| Var.Alm. . | -59.9 | 0 | 0 | 34.8 | 38.8 | 26.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -40.1 | |
| Exceso | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23.1 | 48.6 | 31.3 | 15.3 | 22.1 | 9.18 | 0 | 149.9 |
| Déficit | 0 | 28 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33.33 |
| ETPr | 67.4 | 26.1 | 51.9 | 58.1 | 61.4 | 58 | 62.1 | 57.3 | 50.7 | 55.2 | 53.0 | 69.2 | 1358 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

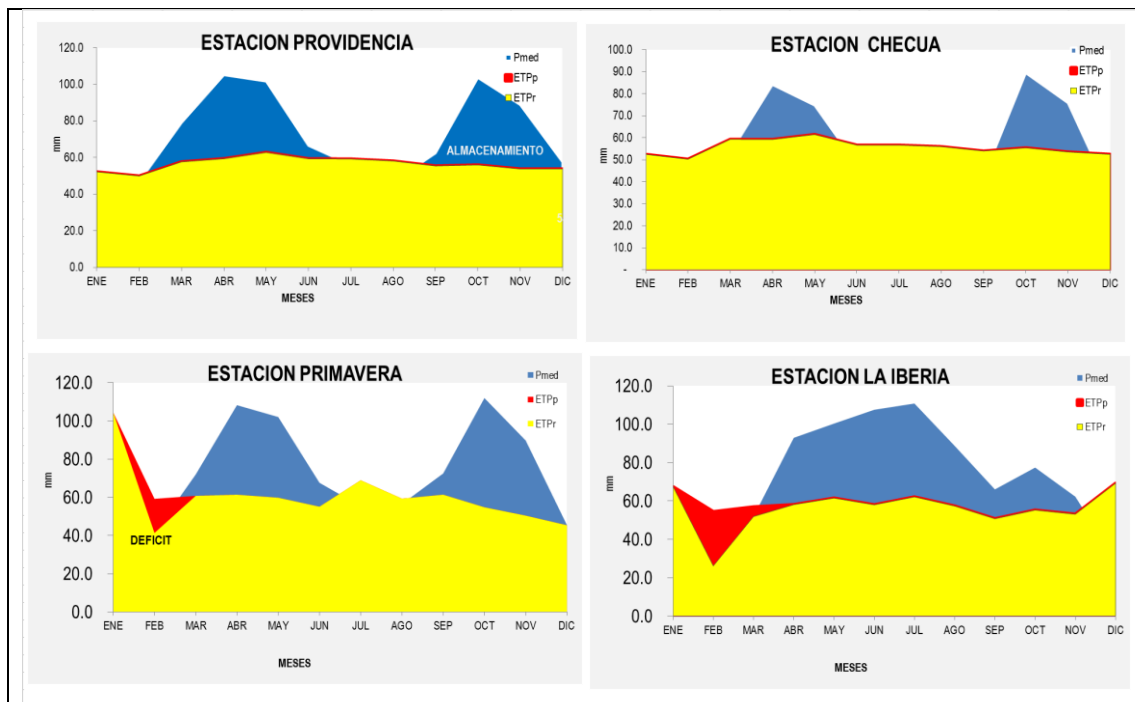


Figura 3-34 Balance hídrico (mm/mes) sector departamento de Cundinamarca cuenca del río Bogotá

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

En el sector de Boyacá, la oferta hídrica es alta, sin llegar a presentar deficit, dado que la evapotranspiración jamás es superior que las lluvias pese a los altos indices de radiación y temperatura en estas zonas.

Tabla 3-21 Balance hídrico estación Campo Hermoso

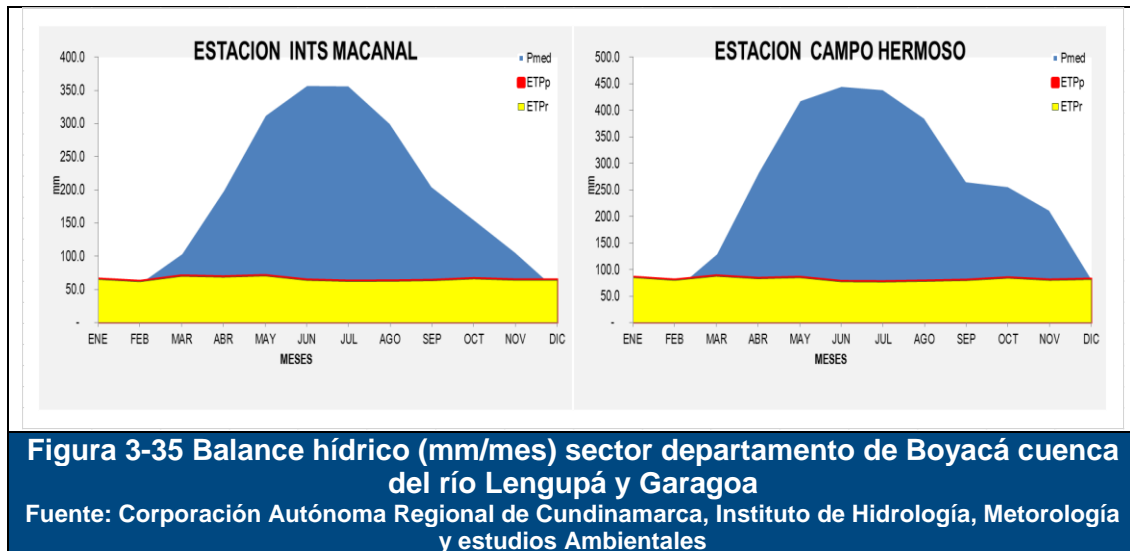
| MESES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Tmed | 21.8 | 22.0 | 21.7 | 21.2 | 20.9 | 20.3 | 20.0 | 20.3 | 20.9 | 21.4 | 21.4 | 21.4 | 21.4 |
| Pmed | 43.3 | 63.8 | 130.6 | 283.6 | 419.4 | 446.8 | 440.5 | 386.4 | 267.0 | 257.8 | 213.1 | 85.0 | 3,037.3 |
| Ind.Calor | 9.3 | 9.4 | 9.2 | 8.9 | 8.7 | 8.3 | 8.2 | 8.3 | 8.7 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 106.2 |
| ETPp | 84.7 | 79.6 | 87.2 | 82.6 | 84.6 | 76.8 | 76.3 | 77.6 | 79.1 | 83.6 | 79.5 | 81.2 | 972.9 |
| ETPpc | (41.4) | (15.8) | 43.4 | 201.0 | 334.8 | 370.0 | 364.2 | 308.8 | 187.9 | 174.2 | 133.6 | 3.8 | |
| Almacen | 58.6 | 42.8 | 86.1 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | |
| Var.Alm. | (41.4) | (15.8) | 43.4 | 13.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Exceso | - | - | - | 187.1 | 334.8 | 370.0 | 364.2 | 308.8 | 187.9 | 174.2 | 133.6 | 3.8 | 2,064.4 |
| Déficit | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ETPr | 84.7 | 79.6 | 87.2 | 82.6 | 84.6 | 76.8 | 76.3 | 77.6 | 79.1 | 83.6 | 79.5 | 81.2 | 1,358.4 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales

Tabla 3-22 Balance hídrico estación Inst

| MESES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| Tmed | 17.6 | 17.9 | 17.9 | 17.7 | 17.4 | 16.7 | 16.2 | 16.4 | 17.0 | 17.4 | 17.6 | 17.4 | 17.9 |
| Pmed | 25.6 | 60.4 | 104.9 | 200.2 | 313.3 | 358.8 | 358.2 | 301.1 | 205.8 | 156.7 | 107.1 | 50.8 | 2,242.9 |
| Ind.Calor | 6.7 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.6 | 6.2 | 5.9 | 6.0 | 6.4 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 78.4 |
| ETPp | 65.1 | 61.6 | 69.7 | 68.4 | 70.2 | 63.6 | 62.0 | 62.2 | 63.1 | 65.7 | 63.8 | 63.8 | 779.1 |
| ETPpc | (39.5) | (1.2) | 35.2 | 131.8 | 243.1 | 295.2 | 296.2 | 238.9 | 142.7 | 91.0 | 43.3 | (13.0) | |
| Almacen. | 47.5 | 46.3 | 81.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 87.0 | |
| Var.Alm. | (39.5) | (1.2) | 35.2 | 18.5 | - | - | - | - | - | - | - | (13.0) | |
| Exceso | - | - | - | 113.3 | 243.1 | 295.2 | 296.2 | 238.9 | 142.7 | 91.0 | 43.3 | - | 1,463.8 |
| Déficit | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ETPr | 65.1 | 61.6 | 69.7 | 68.4 | 70.2 | 63.6 | 62.0 | 62.2 | 63.1 | 65.7 | 63.8 | 63.8 | 1,358.4 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales



➤ **Zonificación climática**

En el presente estudio, la clasificación climática se basó en el estudio de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, en el que para la caracterización climática se utilizan diferentes metodologías tales como los de Köeppen, Thornthwaite, Caldas, Lang, Martone y Holdridge, entre otras. Se optó por asumir un sistema cuya caracterización aplicará a los regímenes térmicos y de humedad propios de la geografía colombiana, considerándolos como los elementos meteorológicos más relevantes y útiles para la caracterización de un ecosistema desde el punto de vista climático (IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP, 2007)²⁰.

Los elementos considerados más relevantes para el mapa de caracterización climática son la temperatura y la precipitación, a continuación se describe cada uno de ellos y su clasificación:

✓ **Denominación termal**

Tomando como referencia los pisos térmicos propuestos por Caldas en 1802, se adoptaron como rangos definitivos para la denominación termal las clasificaciones que se muestran a continuación para el área de estudio.

20 IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP... Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. Bogotá: IGAC. (2007)

Tabla 3-23 Denominación termal

| DENOMINACIÓN TERMAL | RANGOS ALTITUDINALES (M.S.N.M) | RANGOS DE TEMPERATURA |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Cálido | De 0 a 800 | T > 24° C |
| Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18° C y 24° C |
| Frío | De 1.801 a 2.800 | Entre 12° C y 18° C |
| Muy frío | De 2.801 a 3.700 | Entre 6° C y 12° C |
| Extremadamente frío | De 3.701 a 4.500 | Entre 1,5 y 6° C, |
| Nival | > 4500 | Menores a 1,5 |

Fuente: (IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP, 2007)²¹.

En la Figura 3-36, Figura 3-37, Figura 3-38 y Figura 3-39 se presenta la clasificación termal para el área de estudio.

²¹ IGAC, (2007) Op Cit.

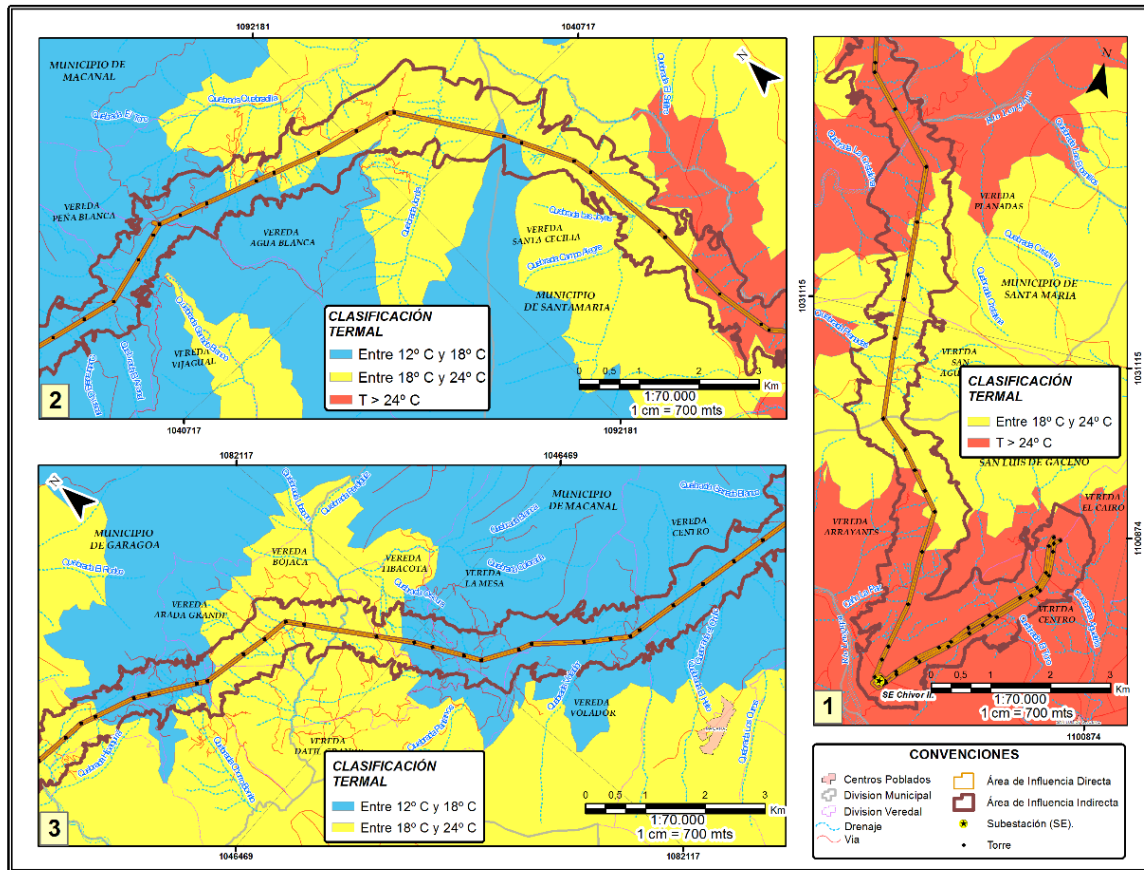


Figura 3-36 Clasificación termal (1-3)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

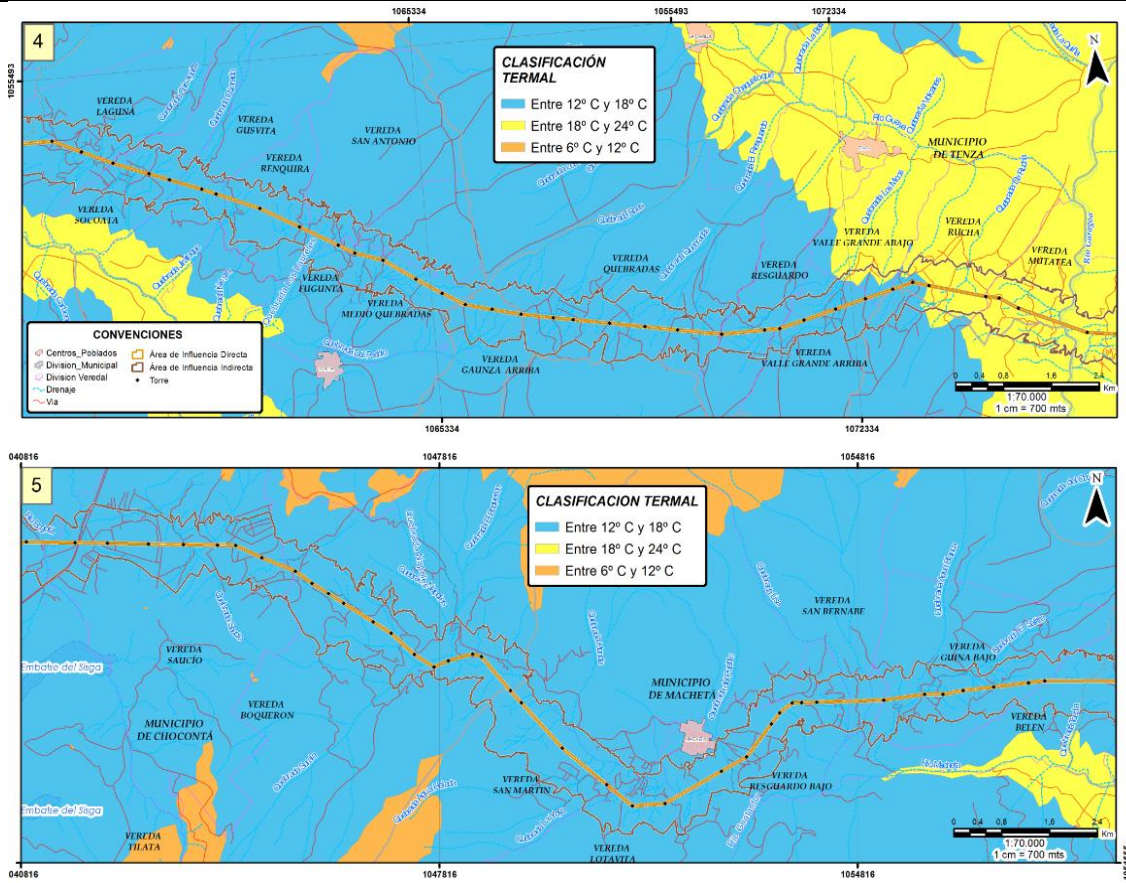


Figura 3-37 Clasificación termal (4-5)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

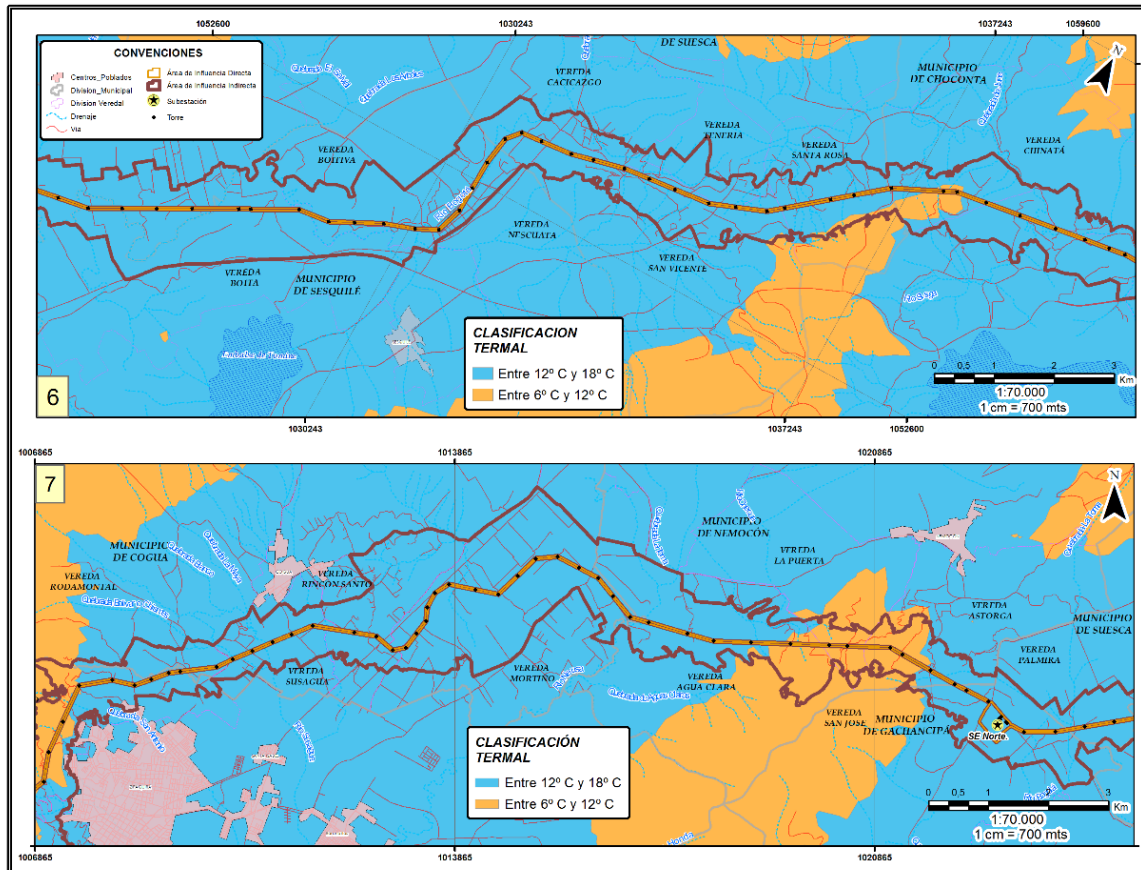


Figura 3-38 Clasificación termal (6-7)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

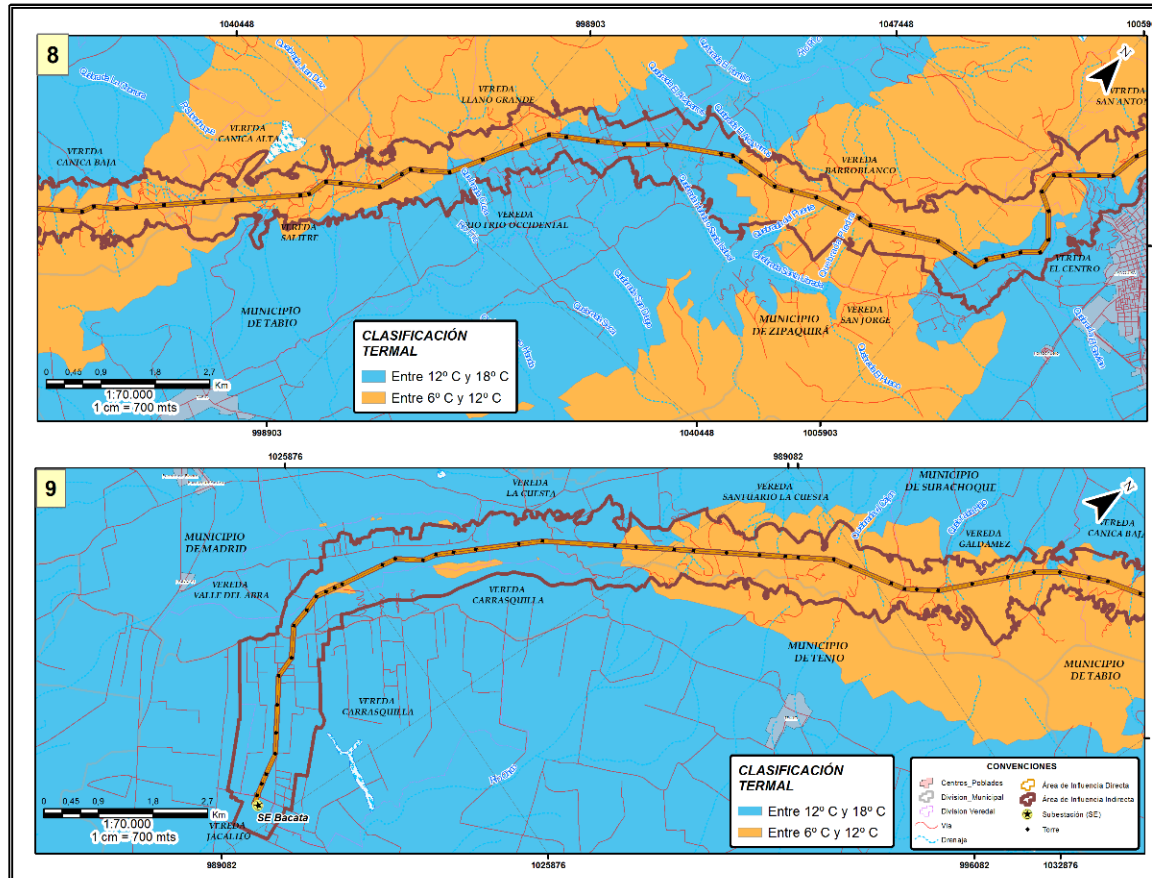


Figura 3-39 Clasificación termal

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

➤ **Denominación de Humedad**

Una vez seleccionadas las estaciones, se efectuó una interpolación geo estadística con los valores medios anuales de dicha variable, de manera que se obtuviera una superficie continua para el campo de precipitación. Asimismo, se realizaron pruebas con varios algoritmos de interpolación. Entre estos se seleccionó IDW (Inverse Distance Weighting) como se presenta en la distribución espacial y se reclasificó según los rangos que aparecen en la **Tabla 3-24** para el área de estudio.

Tabla 3-24 Denominación de humedad

| DENOMINACIÓN HUMEDAD | RANGOS DE HUMEDAD |
|----------------------|-------------------------|
| Árido | De 0 a 500 mm/año |
| Muy Seco | De 501 a 1.000 mm/año |
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año |
| Húmedo | De 2.001 a 3.000 mm/año |
| Muy húmedo | De 3.001 a 7.000 mm/año |
| Pluvial | Mayor de 7.001 mm/año |

Fuente: (IGAC, IDEAM, IAvH, Invermar, I. Sinchi, IIAP, 2007)22.

Como se aprecia en la **Figura 3-40** y en la Tabla 3-24, en el área de estudio, tanto en el sector ubicado en el departamento de Cundinamarca predominan zonas secas y muy secas. Considerada esta una zona con altas deficiencias hídricas por las bajas precipitaciones que se desarrollan en esta zona del país.

Mientras que en el sector de Cundinamarca son zonas Húmedas y muy húmedas respectivamente (Ver **Figura 3-40**). Por su parte en la Figura 3-41, Figura 3-42, Figura 3-43 y Figura 3-44 se muestran los Rangos de Humedad a lo largo del proyecto.

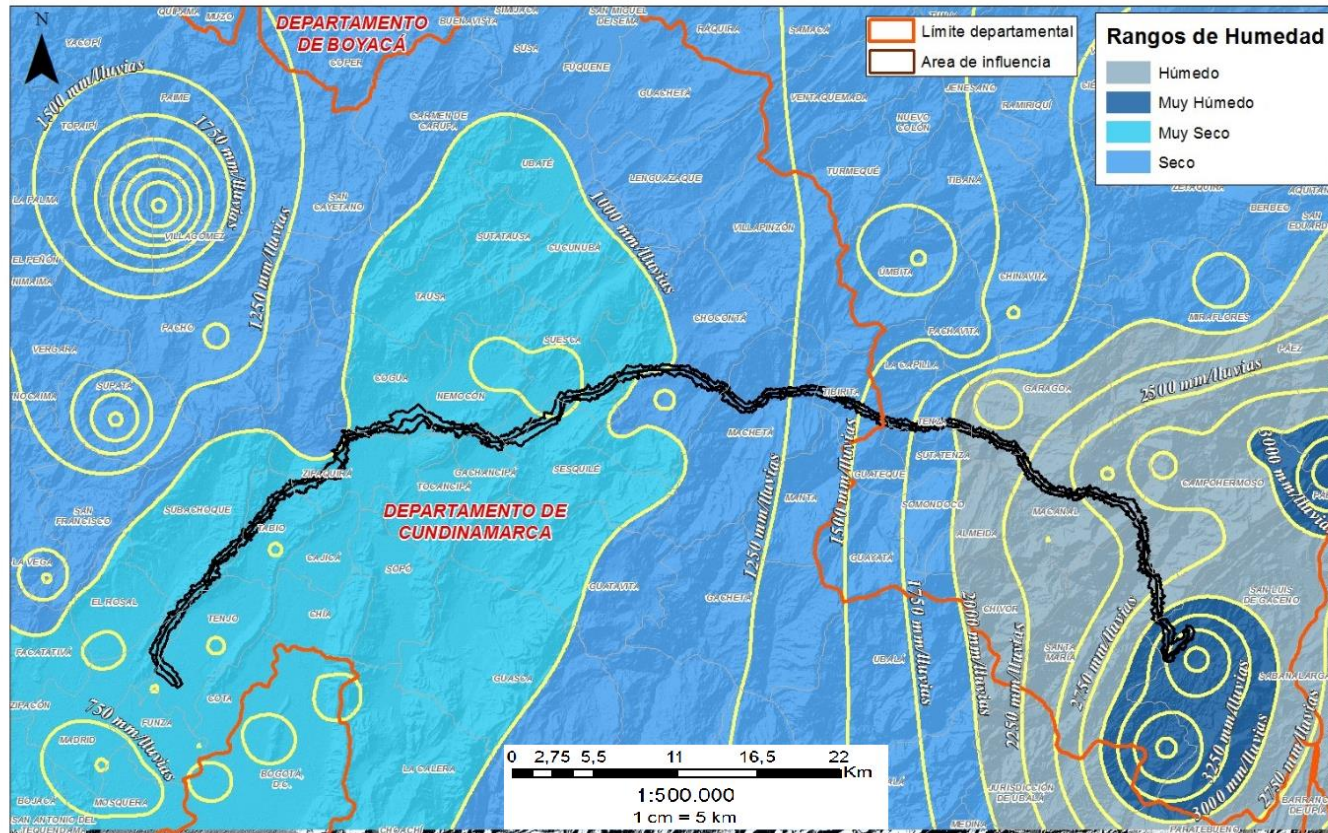


Figura 3-40 Rangos de humedad

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

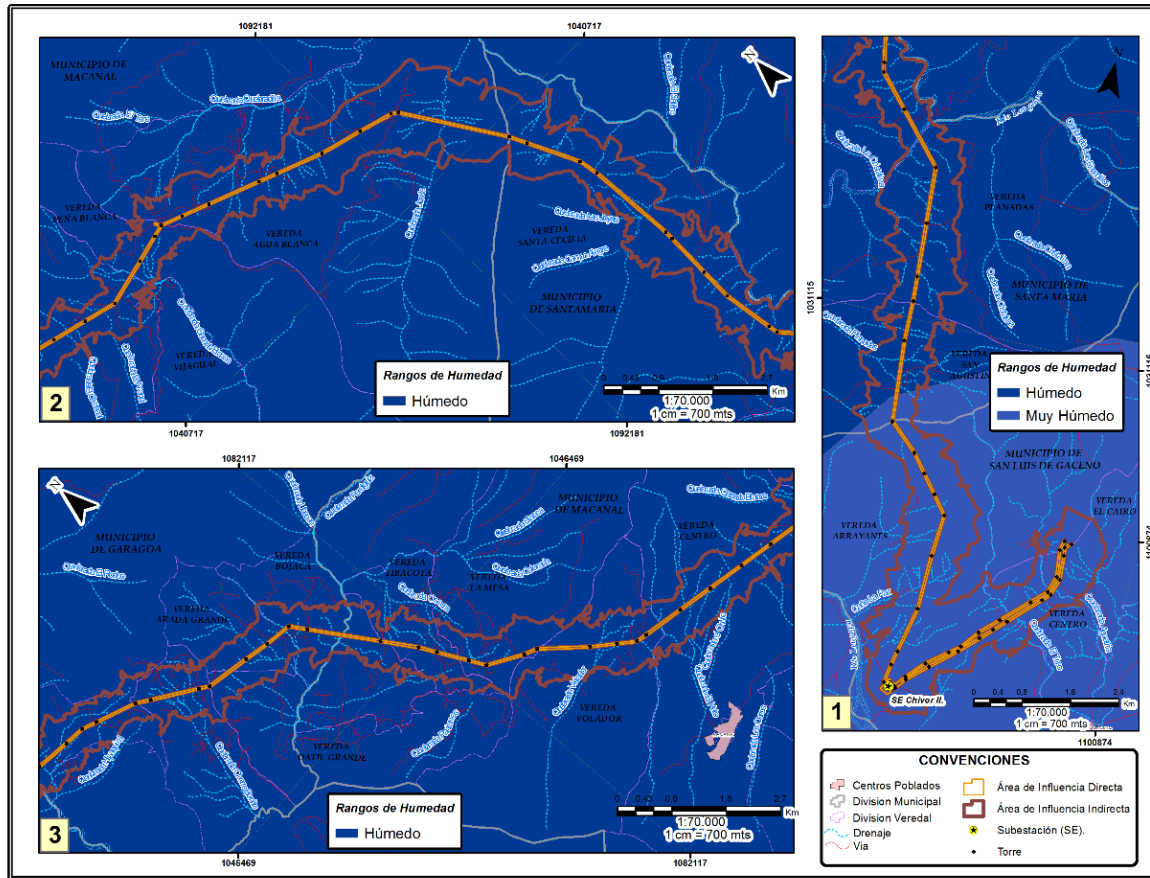


Figura 3-41 Rangos de Humedad (1-3)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

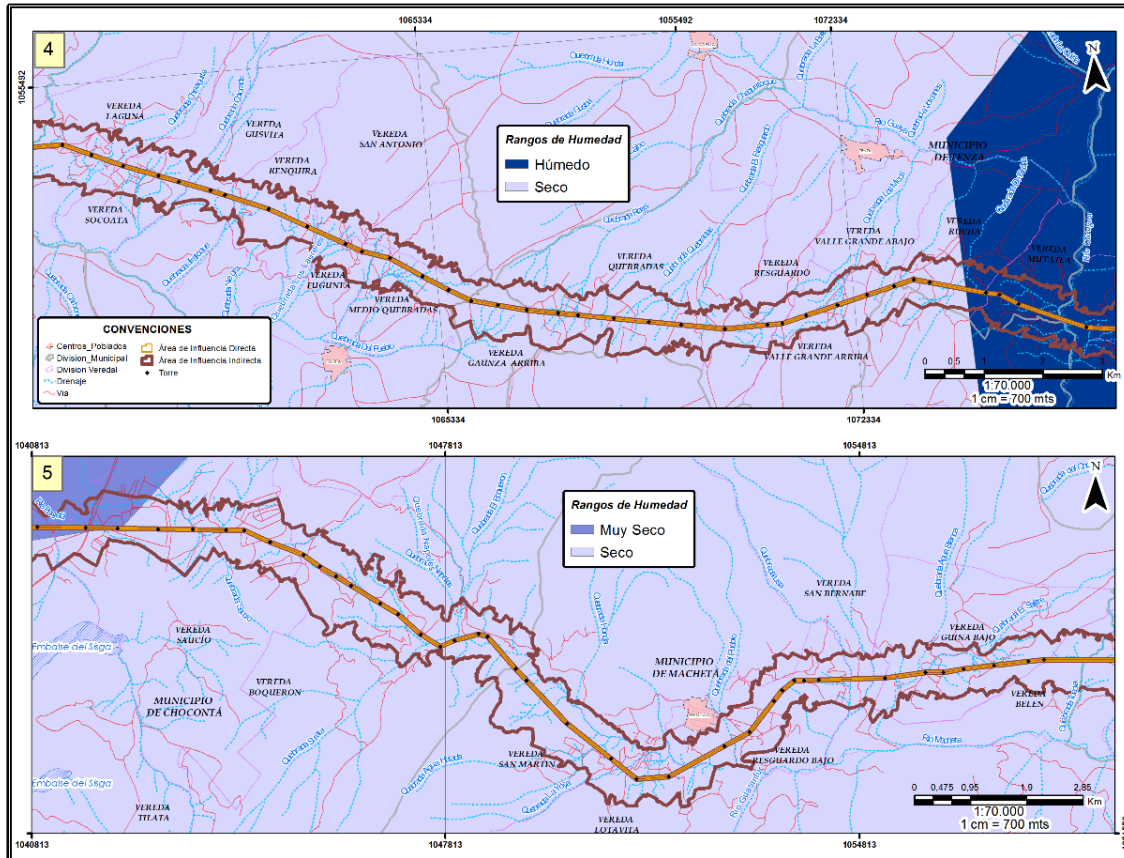


Figura 3-42 Rangos de Humedad (4-5)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

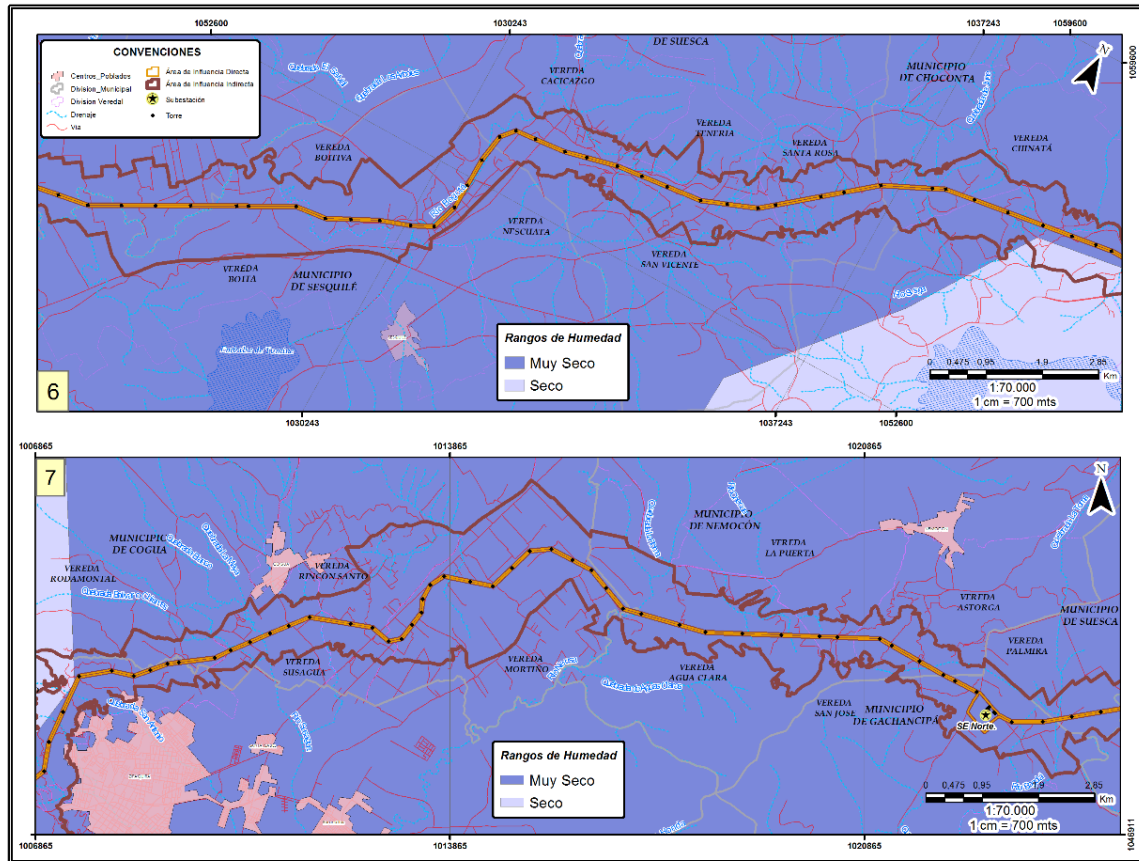


Figura 3-43 Rangos de Humedad (6-7)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

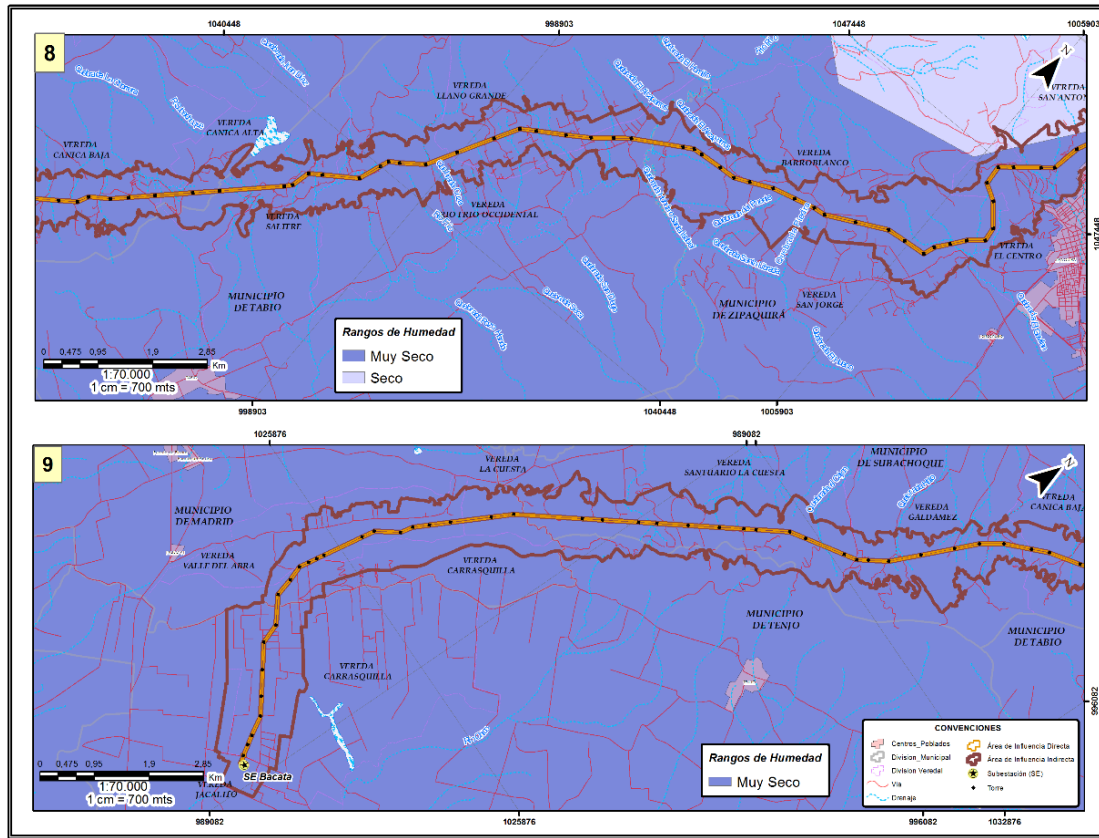


Figura 3-44 Rangos de Humedad (8-9)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

Una vez categorizados los dos elementos meteorológicos principales, se hizo una intersección espacial entre las dos capas, cuyos polígonos relacionan un rango de precipitación con un rango termal. De esta forma se llegó a una descripción de la diversidad climática que, en función de estas variables es el Cálido Húmedo (Ver Tabla 3-25 y Figura 3-45)

Tabla 3-25 Clasificación del clima

| DENOMINACIÓN DE HUMEDAD | RANGOS DE HUMEDAD | DENOMINACIÓN TERMAL | RANGOS ALTITUDINALES (M.S.N.M) | RANGOS DE TEMPERATURA | CLIMA |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año | Cálido | De 0 a 800 | T > 24° C | Cálido Seco |
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año | Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18° C y 24° C | Templado Seco |
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año | Frío | De 1.801 a 2.800 | Entre 12° C y 18° C | Frío Seco |
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año | Muy frío | De 2.801 a 3.700 | Entre 6° C y 12° C | Muy frío Seco |
| Seco | De 1.001 a 2.000 mm/año | Extremadamente frío | De 3.701 a 4.500 | Entre 1,5 y 6° C | Extremadamente frío Seco |
| Muy Húmedo | De 3.001 a 7.000 mm/año | Cálido | De 0 a 800 | T > 24° C | Cálido Muy Húmedo |
| Muy Húmedo | De 3.001 a 7.000 mm/año | Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18° C y 24° C | Templado Muy Húmedo |
| Muy Húmedo | De 3.001 a 7.000 mm/año | Frío | De 1.801 a 2.800 | Entre 12° C y 18° C | Frío Muy Húmedo |
| Muy Seco | De 501 a 1.000 mm/año | Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18° C y 24° C | Templado Muy Seco |
| Muy Seco | De 501 a 1.000 mm/año | Frío | De 1.801 a 2.800 | Entre 12° C y 18° C | Frío Muy Seco |
| Muy Seco | De 501 a 1.000 mm/año | Muy frío | De 2.801 a 3.700 | Entre 6° C y 12° C | Muy frío Muy Seco |
| Muy Seco | De 501 a 1.000 mm/año | Extremadamente frío | De 3.701 a 4.500 | Entre 1,5 y 6° C | Extremadamente frío Muy Seco |
| Húmedo | De 2.001 a 3.000 mm/año | Cálido | De 0 a 800 | T > 24° C | Cálido Húmedo |
| Húmedo | De 2.001 a 3.000 mm/año | Templado | De 801 a 1.800 | Entre 18° C y 24° C | Templado Húmedo |
| Húmedo | De 2.001 a 3.000 mm/año | Frío | De 1.801 a 2.800 | Entre 12° C y 18° C | Frío Húmedo |
| Húmedo | De 2.001 a 3.000 mm/año | Muy frío | De 2.801 a 3.700 | Entre 6° C y 12° C | Muy frío Húmedo |

Fuente: (IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP, 2007)23.

En la Figura 3-46, Figura 3-47, Figura 3-48 y Figura 3-49 se presenta la zonificación climática a lo largo del proyecto.

IGAC, (2007) Op Cit.

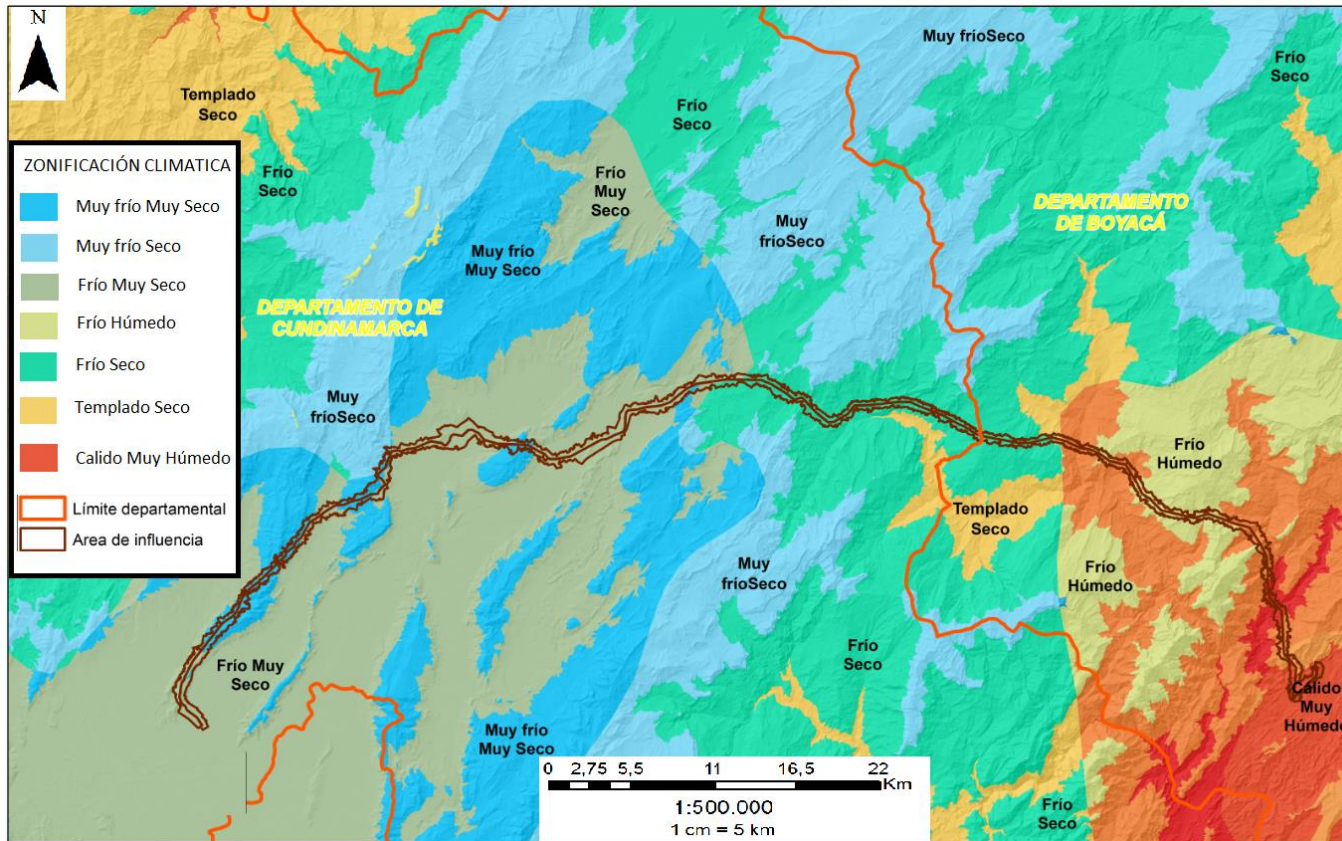


Figura 3-45 Zonificación climática

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

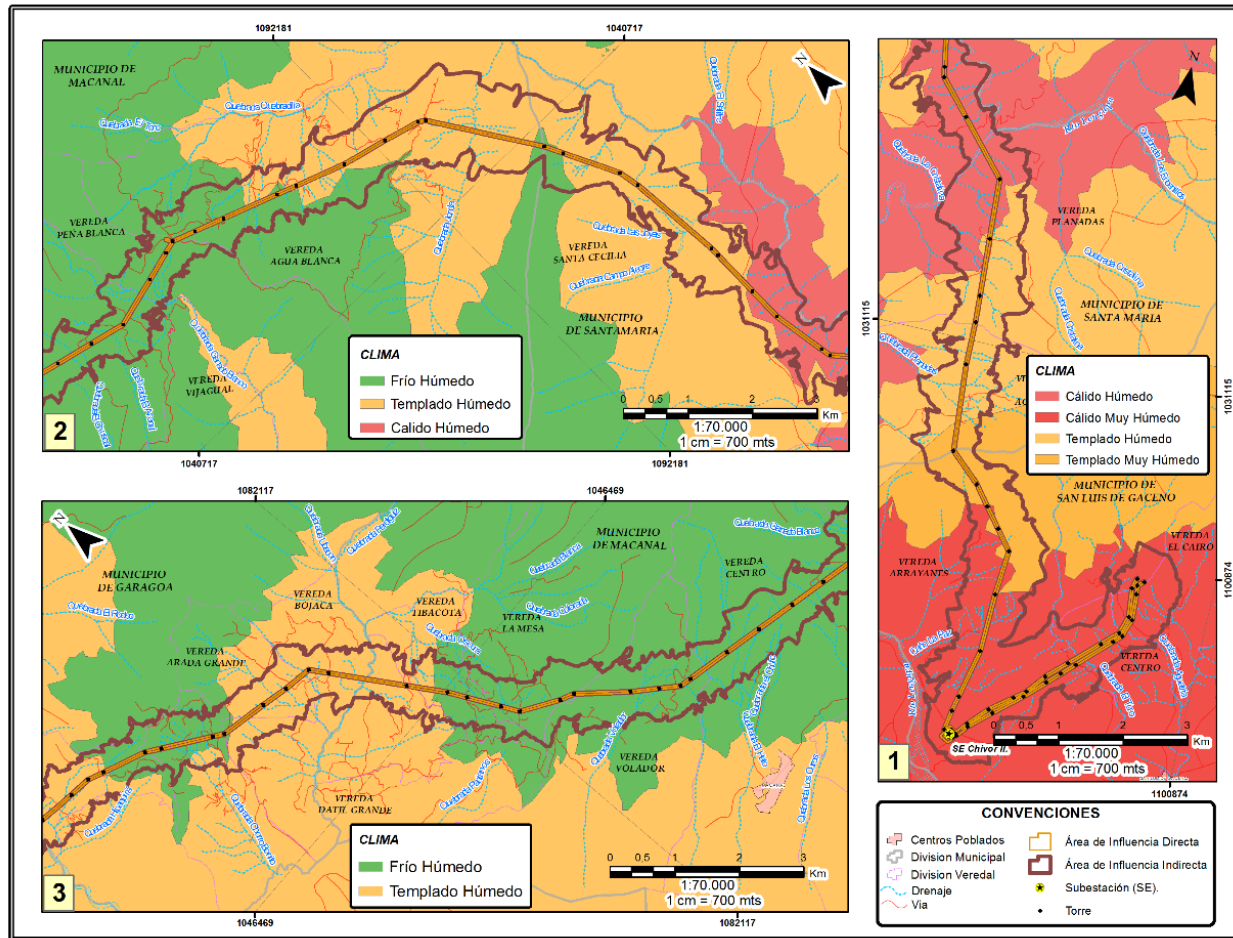


Figura 3-46 Zonificación climática (1-3)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

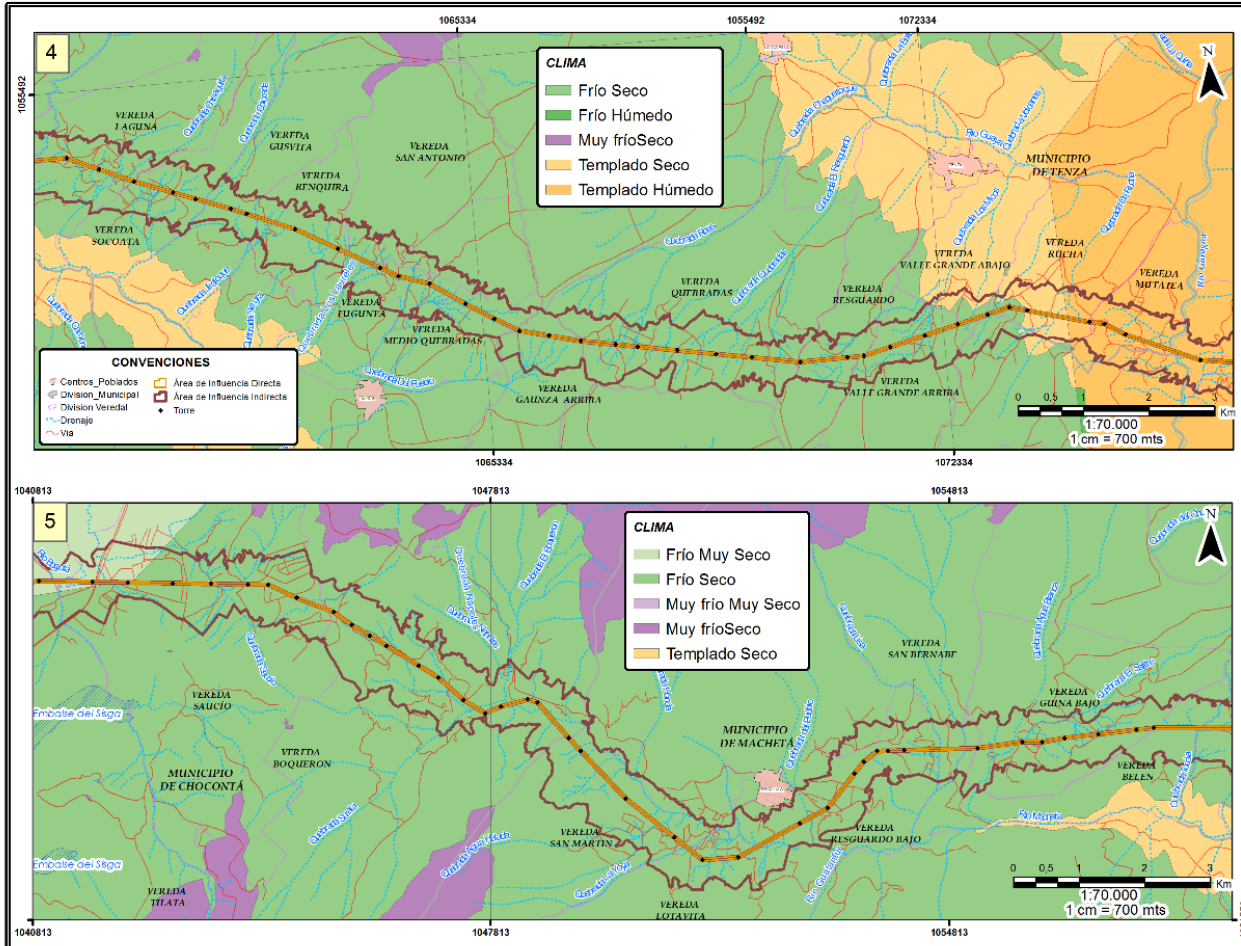


Figura 3-47 Zonificación climática (4-5)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

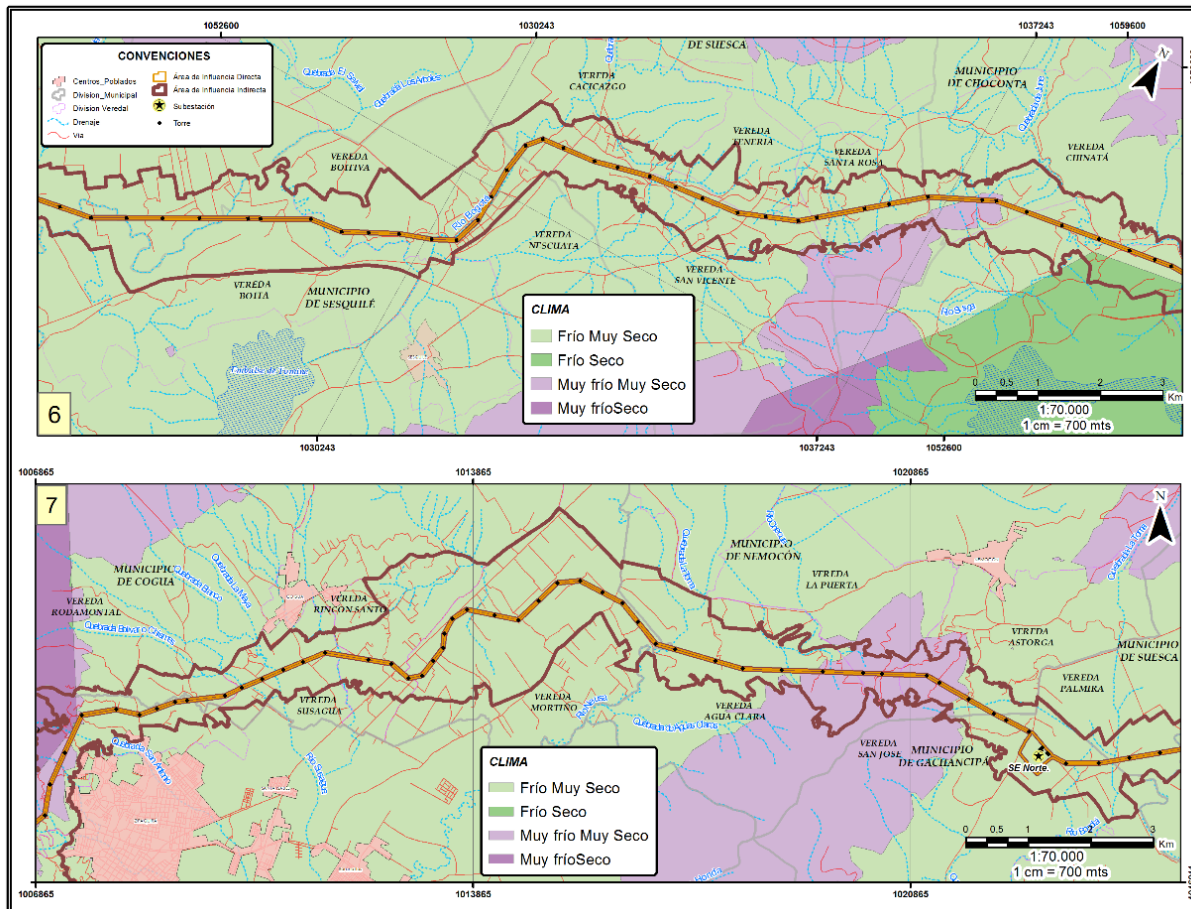


Figura 3-48 Zonificación climática (6-7)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)

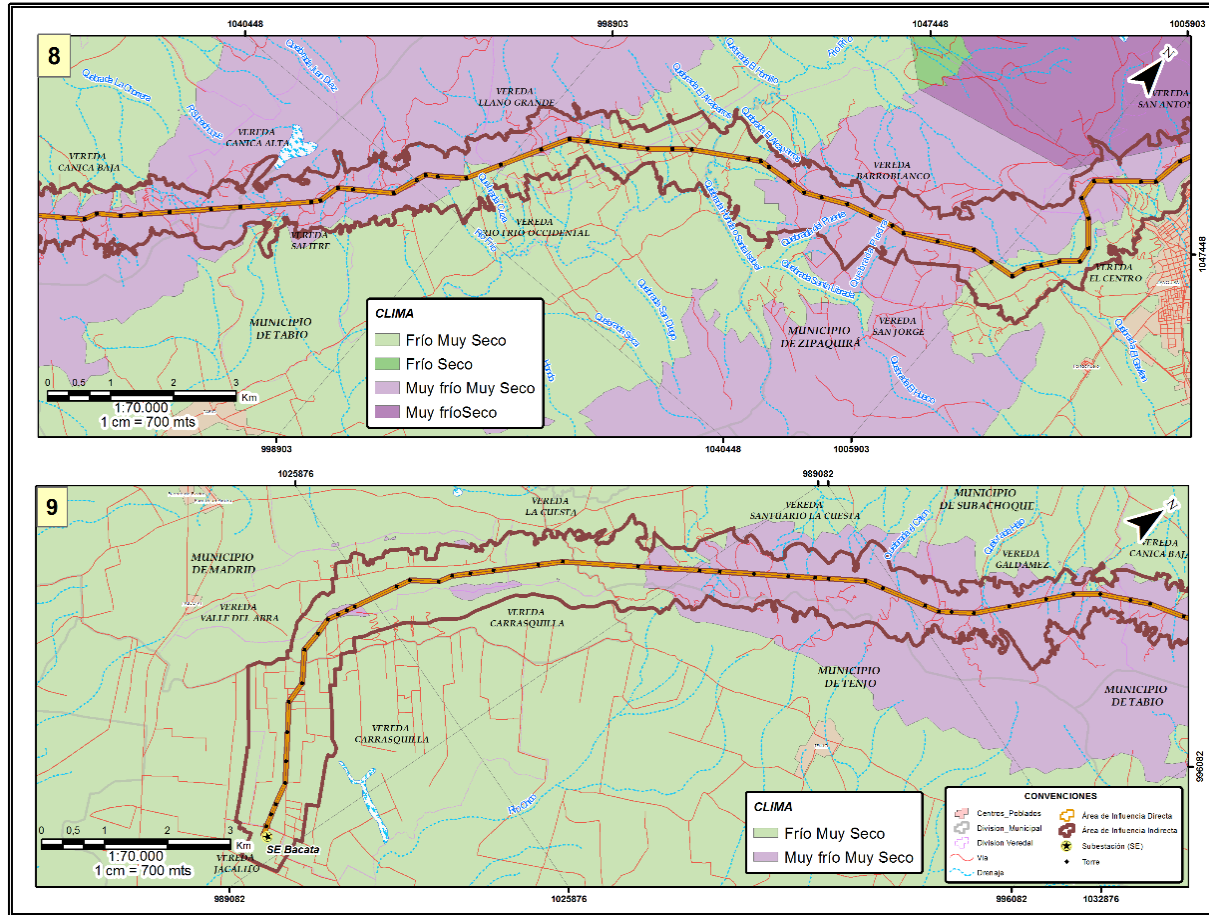


Figura 3-49 Zonificación climática (8-9)

Fuente: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2016), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2016)