



Análisis de las variables del clima en el valle del río Cauca

Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia





Peña Quiñones, Andrés Javier

Análisis de las variables del clima en el valle del río Cauca / Andrés Javier

Peña Quiñones; Héctor Alberto Chica Ramírez; Christian José Mendoza Castiblanco. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed.) -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2024.

44 p. (Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8449-35-7

1. Valle del río Cauca. 2. Temperatura. 3. Radiación solar. 4. Red Meteorológica Automatizada. 5. Climatología. 6. Termodinámica atmosférica.

I. Chica Ramírez, Héctor Alberto. II. Mendoza Castiblanco., Christian José. III. Título. IV. Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia

551.52 CDD 23 ed.

P419

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Cenicaña © 2024

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia

Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26

www.cenicana.org

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial: Victoria Carrillo C.

Corrección de textos: Ernesto Fernández R.

Diseño e ilustración: Alcira Arias V.

Cita bibliográfica

Peña Quiñones, A. J., Chica Ramírez, H. A. & Mendoza Castiblanco, C. J. (2024). Análisis de las variables del clima en el valle del río Cauca. En: Centro de investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>

Análisis de las variables del clima en el valle del río Cauca

Andrés Javier Peña Quiñones

Héctor Alberto Chica Ramírez

Christian José Mendoza Castiblanco



Contenido

Introducción	5
Generalidades	6
Radiación solar	8
Temperatura ambiental	12
Humedad del aire	20
Precipitación	22
Evaporación	26
Conclusión	29
Anexo	31
Anexo 1. Promedio mensual de los valores de las variables meteorológicas	32
Anexo 2. Tabla con el histórico de fases ENOS. Clasificación tipo NOAA, basada en los valores del Índice Oceánico de El Niño (ONI)	41
Referencias	42





Introducción

Los biomas son regiones del planeta que comparten similares condiciones geológicas y climáticas (Strakhov, 1967), cuya interacción se traduce inicialmente en suelos característicos sobre los que se desarrolla una vegetación típica. En la región productora de caña de azúcar del valle del río Cauca predominan tres biomas: el Orobioma Azonal, el Helobioma del Valle del Cauca y el Zonobioma Alternohigrico Tropical del Valle del Cauca (Valderrama, 2013). El Orobioma Azonal, que se encuentra en el piedemonte de la cordillera Occidental, se caracteriza por ser muy seco. El Helobioma del Valle del Cauca, localizado en las zonas de inundación del río Cauca (planicies de inundación), se caracteriza por su clima seco. El Zonobioma Alternohigrico, ubicado sobre los abanicos aluviales, se caracteriza también por ser seco en la zona plana, pero es más húmedo cerca de la cordillera Central. Esto significa que en el valle del río Cauca hay diferentes ecosistemas, todos cálidos, desde zonas muy secas hasta zonas húmedas. Este documento versa sobre esa variabilidad climática del valle del río Cauca, tanto espacial como temporal y busca caracterizar el clima de la región no solo con base en la temperatura del aire y la precipitación sino con otros elementos.

Generalidades

La información que aquí se presenta está respaldada con datos horarios y diarios de 34 estaciones meteorológicas de una red que empezó a operar en la región en el segundo semestre de 1993, conformada inicialmente por 11 estaciones de campo (Cenicaña, 2014) y que en la actualidad cuenta con 37 estaciones totalmente automatizadas, distribuidas a lo largo y ancho del valle del río Cauca (Figura 1). Es de anotar que esta red meteorológica no solo representó un hito para el sector azucarero sino para el país, pues fue la primera red funcional de este tipo que permitió tomar decisiones de campo en tiempo cercano al real. En el análisis que se presenta sólo se tuvieron en cuenta las estaciones con un histórico mínimo de 12 años.



Figura 1. Estación meteorológica automatizada típica instalada en el valle del río Cauca.

Todas las estaciones climatológicas de la red están dotadas de sensores recomendados y validados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que se instalaron siguiendo sus estándares (Figura 2). Los sensores de radiación global y precipitación (piranómetro y pluviómetro) se encuentran ubicados a 1 m de altura de la superficie; el sensor de temperatura y humedad relativa del aire (termohigrómetro) se ubica a 2 m de altura y los de dirección y velocidad del viento (veleta y anemómetro), a 10 m de altura. Además se instala un panel solar para garantizar el suministro energético, un sistema de recolección de datos (datalogger), que también controla la comunicación entre la estación y el sistema de almacenamiento en Cenicaña, y un módem para enviar datos consolidados a escala horaria y diaria utilizando la red de comunicación celular (GSM, *Global System for Mobile Communications*).



Figura 2. Red meteorológica: 37 estaciones. Para la caracterización climática se utilizaron 34 estaciones con más de 12 años de operación.

Radiación solar

El valle del río Cauca recibe, en promedio, 407 cal/cm²/día de radiación global en la banda espectral comprendida entre 380 nm y 1050 nm (aprox.), equivalente a 17 MJ/m²/día. Esta radiación engloba (de ahí su nombre) la que incide de forma directa sobre la superficie y la que incide de forma difusa. La radiación directa es aquella que no es modificada por la acción de los componentes atmosféricos, que sí alteran la radiación difusa y antes de que toque la superficie la dispersan hacia otras regiones de la bóveda celeste (Jaramillo, 2005).

A pesar de que los valores de radiación tanto difusa como directa son importantes en los modelos de absorción de energía por el follaje (conocido como coeficiente de extinción *k*) (Jaramillo, 2005), muy poco se sabe acerca de la precisión de los modelos que descomponen la radiación global en difusa y directa (p. ej., Ideam-Upme, 2005).

En la estación meteorológica Cenicaña se empezó a medir la radiación difusa y la radiación neta sobre una superficie de pastos desde 2019. Para determinar el porcentaje de radiación difusa en la radiación global se instaló un piranómetro con banda de sombra, tal como se describe en Ideam-Upme (2005). Los primeros resultados muestran que, en promedio, el 45% de la radiación global medida en la estación Cenicaña es difusa; proporción que varía según la hora del día e igualmente si hay nubosidad (Figura 3).

Para la medición de la radiación neta se usó un conjunto de sensores que determinan el balance entre la radiación incidente procedente del Sol y del cielo y la radiación reflejada por la superficie terrestre (radiómetro neto). Los resultados preliminares (Figura 4), muestran patrones similares a los reportados por Moene & van Dam (2015),

quienes también midieron la radiación neta sobre superficies sembradas con pastos.

Sin embargo, pese a la similitud de los patrones, los datos consolidados diarios de albedo (porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja con respecto a la radiación que incide sobre ella) son un poco más altos en la estación Cenicaña que los informados por los autores mencionados.

En Cenicaña los valores de albedo oscilan entre 0.23 y 0.26, según la época del año y el estado de humedad del suelo. Esto significa que la pastura solo aprovecha entre el 74% y el 77% de la radiación global que incide sobre la superficie (pasto) en que está ubicada la estación meteorológica. Una parte de la radiación global se emplea en evapotranspirar el agua del suelo; otra parte, en calentar el suelo y otra, en calentar la atmósfera. En las 34 estaciones de referencia, a escala espacial los valores más altos de radiación global media diaria (cal/cm²/día) se registran en las estaciones San Marcos (449), Zarzal (446) y Tuluá (444); por su parte, los valores más bajos se reportan en Amaime (367), Palmira San José (369) y El Naranjo (371). Por estar ubicadas en una zona

La radiación directa es aquella que no es modificada por la acción de los componentes atmosféricos, que sí alteran la radiación difusa y antes de que toque la superficie la dispersan hacia otras regiones de la bóveda celeste.

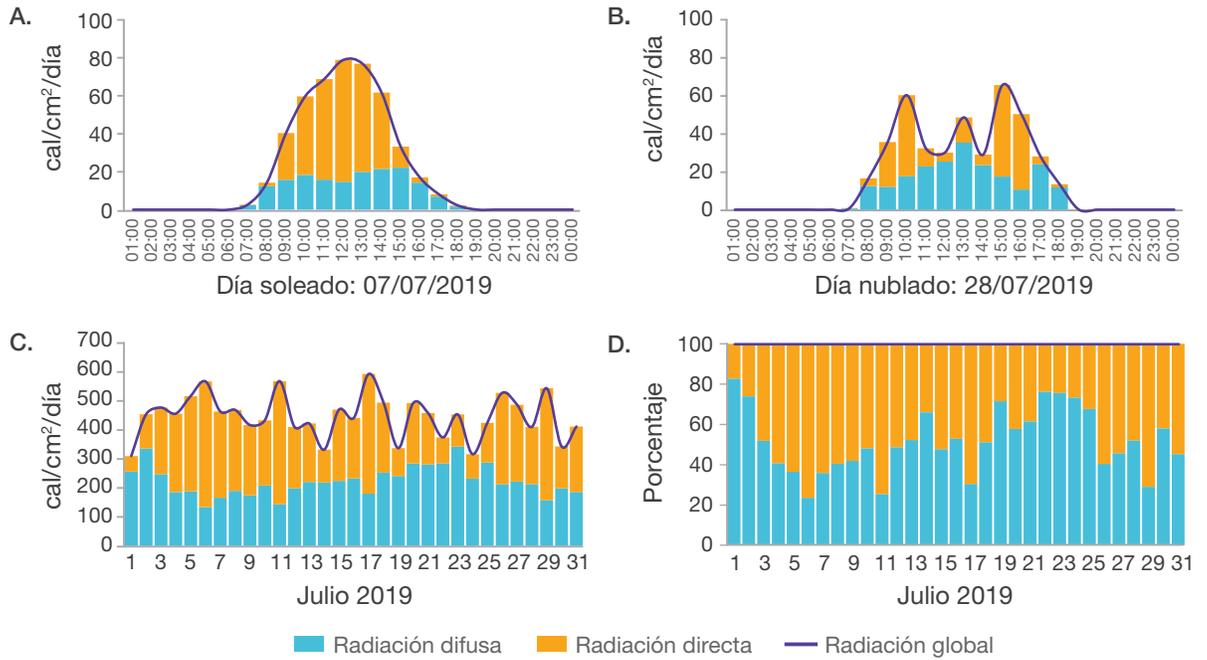


Figura 3. Componentes de la radiación global en la estación Cenicaña: en un día despejado, el 7 de julio de 2019 (A); en un día nublado, el 28 de julio de 2019 (B); valores diarios de estos mismos componentes durante el mes de julio de 2019, expresados: en unidades de radiación (C); como porcentaje de la radiación global (D).

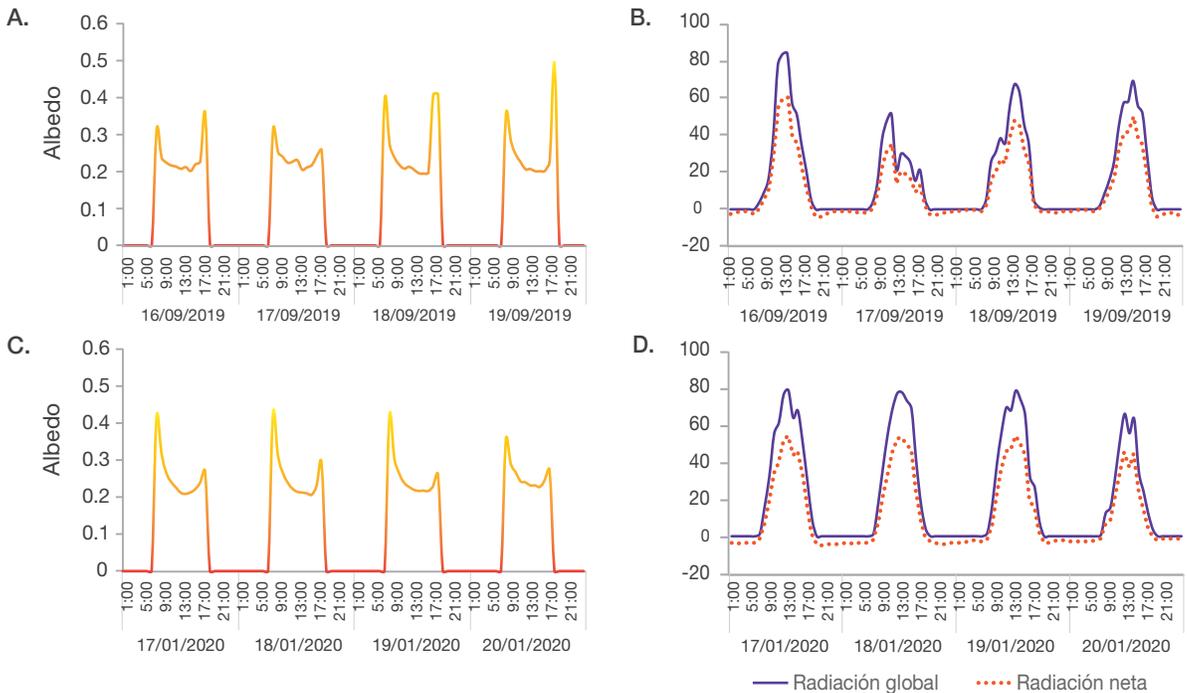


Figura 4. Medidas de albedo, radiación neta y radiación global en la estación Cenicaña tomadas en dos épocas del año: septiembre de 2019 (A) y (B); enero de 2020 (C) y (D).

El sensor de la estación está instalado a 1.1 m de altura sobre una superficie sembrada con pasto.

ecuatorial, la mayoría de las estaciones registran dos valores máximos de radiación al año (entre febrero-marzo y entre agosto-septiembre), y dos valores mínimos (entre mayo-junio y entre noviembre-diciembre) (Figura 5, Anexo 1a).

Los mayores valores de radiación global media diaria del periodo 2004-2019 (15 años) se registraron en 2015 (420 cal/cm²/día). En ese mismo lapso los valores más bajos de esta variable se dieron en 2010 (390 cal/cm²/día). Es de anotar que ambos años (2010 y 2015) son referidos

como años El Niño según la clasificación basada en el Índice de Oscilación de El Niño (ONI) (Anexo 2), razón por la cual queda en evidencia que no todas las variables meteorológicas responden de igual manera a El Niño y mucho menos lo hacen todas las localidades (Peña et al., 2001).

El efecto de la ley del coseno de Lambert también se aprecia a escala diaria. Gracias a ello, en un día despejado los valores más altos de radiación solar global se dan cuando el Sol alcanza el cenit (Figura 6).

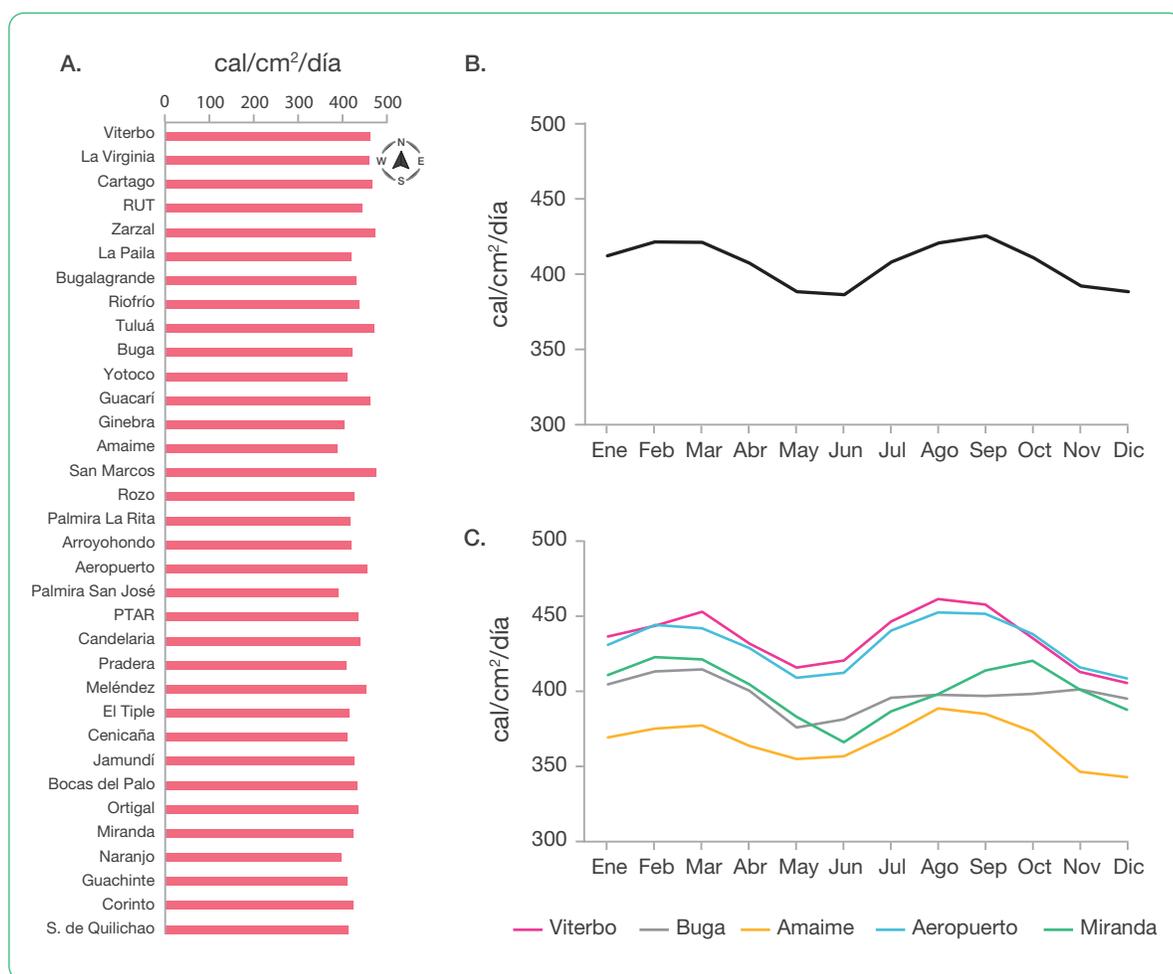


Figura 5. Valores medios diarios de radiación solar global: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C).

Nótese que aun en la localidad más norte (Viterbo) el efecto del doble paso solar (marzo-abril y septiembre-octubre) afecta más que el hecho de mantenerse medio año (marzo-septiembre) más “cerca” del Sol.

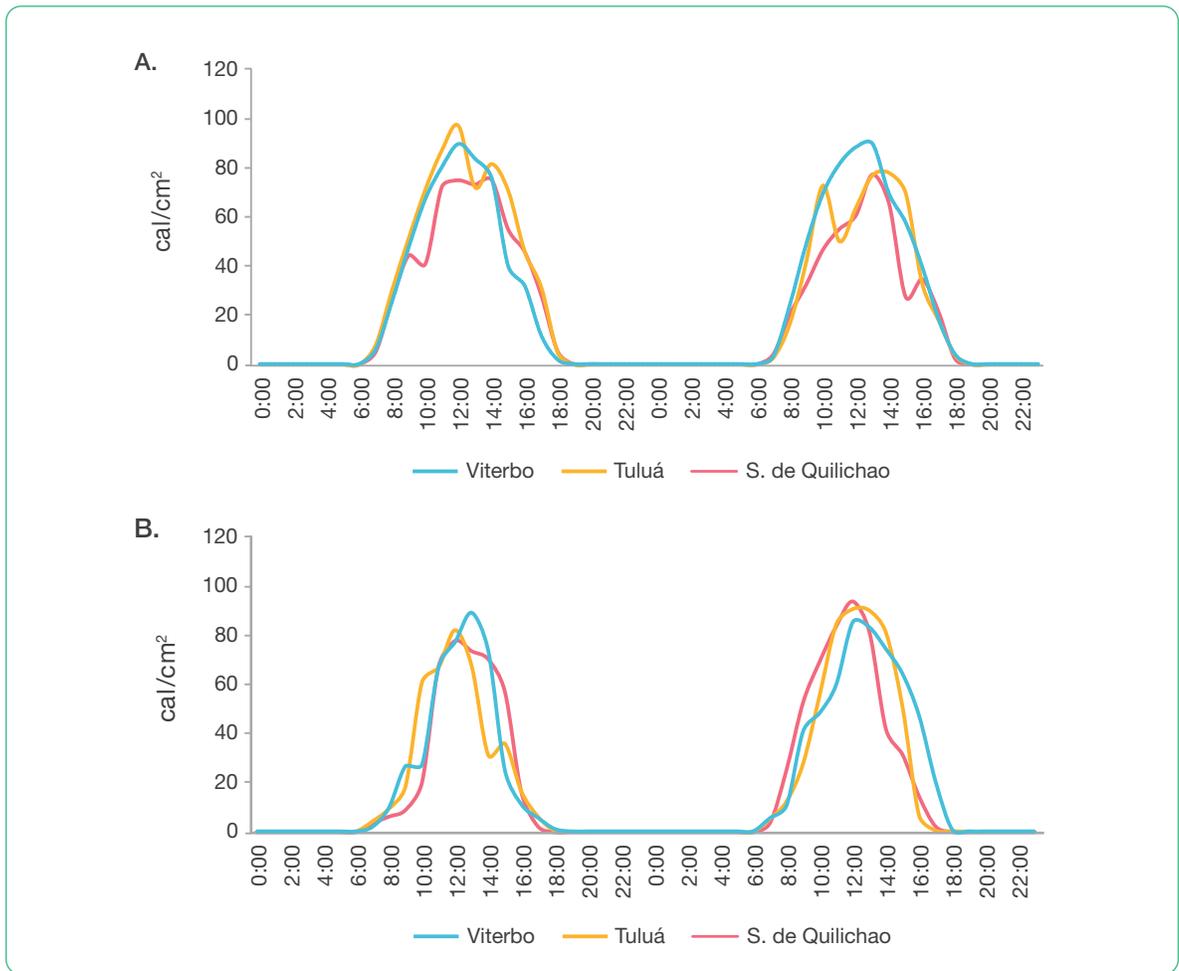


Figura 6. Ciclo diario de la radiación global durante: Días secos, 12-13 de septiembre de 2019 (A); días lluviosos, 29-30 de septiembre de 2019 (B).

Nótese cómo las lluvias predominantemente nocturnas afectan los valores diarios de radiación global al atenuar la radiación global en las primeras horas de la mañana y de la noche.

En las 34 estaciones de referencia, a escala espacial los valores más altos de radiación global media diaria ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$) se registran en las estaciones San Marcos (449), Zarzal (446) y Tuluá (444); por su parte, los valores más bajos se reportan en Amaime (367), Palmira San José (369) y El Naranjo (371).

Temperatura ambiental

Ambiente es el entorno o fluido que rodea un cuerpo, y en tal sentido es un concepto relativo. Por lo tanto, cuando se habla de temperatura ambiental se debe especificar a qué se hace referencia. Por ejemplo, para tener una idea de la temperatura ambiental en la que se desarrolla una larva del barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea* spp.) debería medirse la temperatura misma del tejido del tallo (Peña et al., 2019) y para determinar la temperatura ambiental en la que se desarrollan las raíces de un cultivo se deberá hacer uso de geotermómetros (Campbell & Norman, 1998) para medir la temperatura específica en el suelo. La temperatura del aire medida por las estaciones meteorológicas estándar es, por tanto, una de tantas temperaturas ambientales que se utilizan para tomar decisiones en agricultura.

Temperatura del aire

Las estaciones reportan cuatro variables diarias para caracterizar la temperatura del aire: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media¹ y la amplitud térmica u oscilación diaria de la temperatura. Para caracterizar la temperatura del aire como elemento del clima en otras escalas temporales (semanal, decadal, mensual o anual) se utilizan seis variables: temperatura mínima absoluta, temperatura mínima media, temperatura media, temperatura máxima media, temperatura

máxima absoluta y la oscilación media diaria de la temperatura del aire (Figura 7).

Dado que el aire se comporta como un gas ideal, existe una relación negativa entre la altitud y la temperatura. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la máxima diferencia de altitudes en el valle del río Cauca es de 180 metros,² la variabilidad espacial de este elemento del clima es muy baja, es decir, los valores de temperatura del aire son similares a lo largo de todo el valle (Figuras 8, 9 y 10). Los valores medios de temperatura mínima media, media y máxima media en la región son 18.8 °C, 23.2 °C y 29.9 °C, respectivamente (Anexo 1a, 1b y 1c).

Ante este hecho, las diferencias entre los valores medios de la temperatura del aire en la región se explican por factores diferentes a la altitud, entre ellos los antrópicos, como en el caso de la estación PTAR, ubicada en la zona urbana de la ciudad de Cali donde, por efecto del fenómeno de la “isla de calor”, se presentan las máximas temperaturas medias de la región (24.1 °C). Las otras localidades en las que se registran valores altos de esta variable son: RUT (23.8 °C, +0.6),³ Yotoco (23.6 °C, +0.4), Roza (23.6 °C, +0.4) y Guachinte (23.6 °C, +0.4), situadas en el norte, centro y sur de la región. En dichas localidades se han identificado también

¹ En Cenicafsa, a diferencia de la forma como se computan los datos provenientes de las redes meteorológicas convencionales, la temperatura media diaria se calcula con base en la temperatura media de cada hora del día (n=24). En las redes convencionales se utiliza para el efecto el cálculo tipo FAO, basado en la temperatura máxima y mínima del aire (n=2), o el cálculo tipo OMM, basado en la temperatura del aire en tres momentos del día (07:00, 13:00, 19:00, n=3). Por tanto, cuando se pretenda comparar temperaturas medias de sitios por fuera de la región de referencia es preciso considerar este aspecto.

² Esto significa que la diferencia máxima, en términos de presión barométrica media, entre dos sitios del valle del río Cauca, sería en hectopascuales de 12-18 hPa o 0.7-1.3 °C.

³ El valor dentro del paréntesis es el valor medio de la variable en el sitio y la diferencia con el valor medio de la región (anomalía).

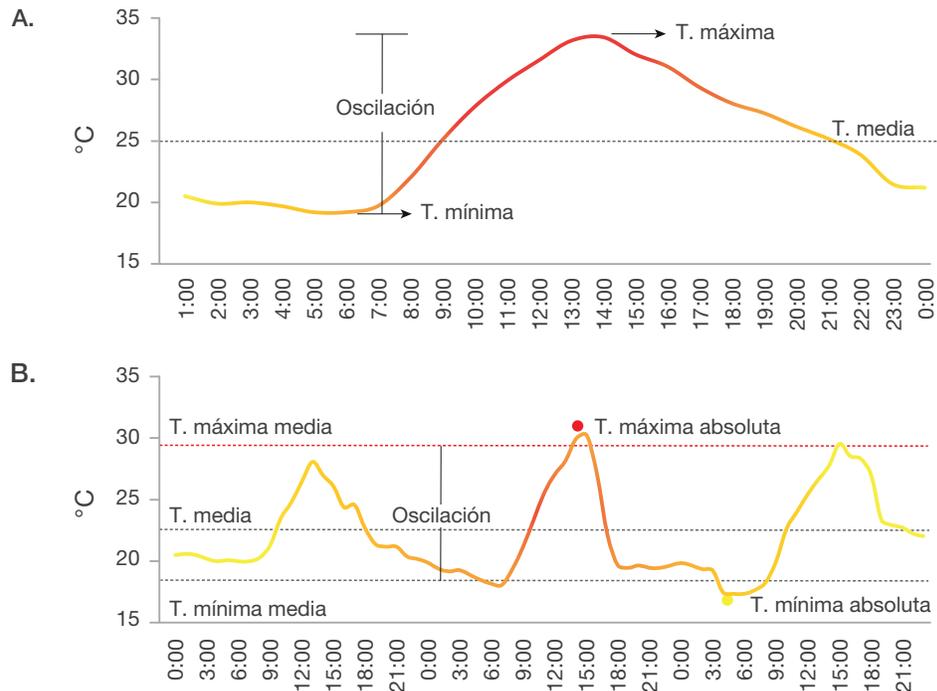


Figura 7. Variables utilizadas para describir el comportamiento de la temperatura del aire en el tiempo: cuatro variables a escala diaria (A); seis variables a otras escalas (B).

factores diferentes a la altitud que inciden en la temperatura, en algunos casos asociados al relieve (como el efecto Föhn⁴). Los valores más bajos de temperatura media se registran en las estaciones del piedemonte de la cordillera Central, hacia el sur del valle: Palmira La Rita (22.7 °C, -0.5), Pradera (22.7 °C, -0.5), Miranda (22.7 °C, -0.5) y Corinto (22.7 °C, -0.5).

En la región se presentan dos máximos de temperatura media a través del año, específicamente hacia el final de las temporadas secas: uno en febrero y otro en agosto, cuando teóricamente ocurre el mayor exceso de flujo de calor sensible por efecto de la alta radiación global y la escasa humedad del suelo. En ese sentido, el patrón medio de comportamiento intra anual de la temperatura máxima media del aire –variable

influenciada por este mismo fenómeno– es similar al de la temperatura media a través del año (Figuras 8 y 9). Los máximos valores de las dos variables (máxima media y media) se registran en los mismos meses y los valores mínimos, en las mismas épocas. La zona norte, por estar más baja sobre el nivel del mar, tiene, en promedio, mayores valores de temperatura máxima que el sur. De hecho, con excepción de lo que sucede en las estaciones Rozo y Amaime, las cinco localidades donde se registran las mayores temperaturas máximas medias (30.7 °C en promedio, +0.8) se encuentran en el norte (RUT, Buga, Cartago, La Virginia y Rozo), y todas las localidades de menores temperaturas máximas medias (29.1 °C en promedio, -0.8) se encuentran en el sur (Corinto, Pradera, Cenicaña, Santander de Quilichao y Amaime).

⁴ Armenta (2013) hace una descripción detallada de este fenómeno en una región de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/11389/1/194144.2013.pdf>

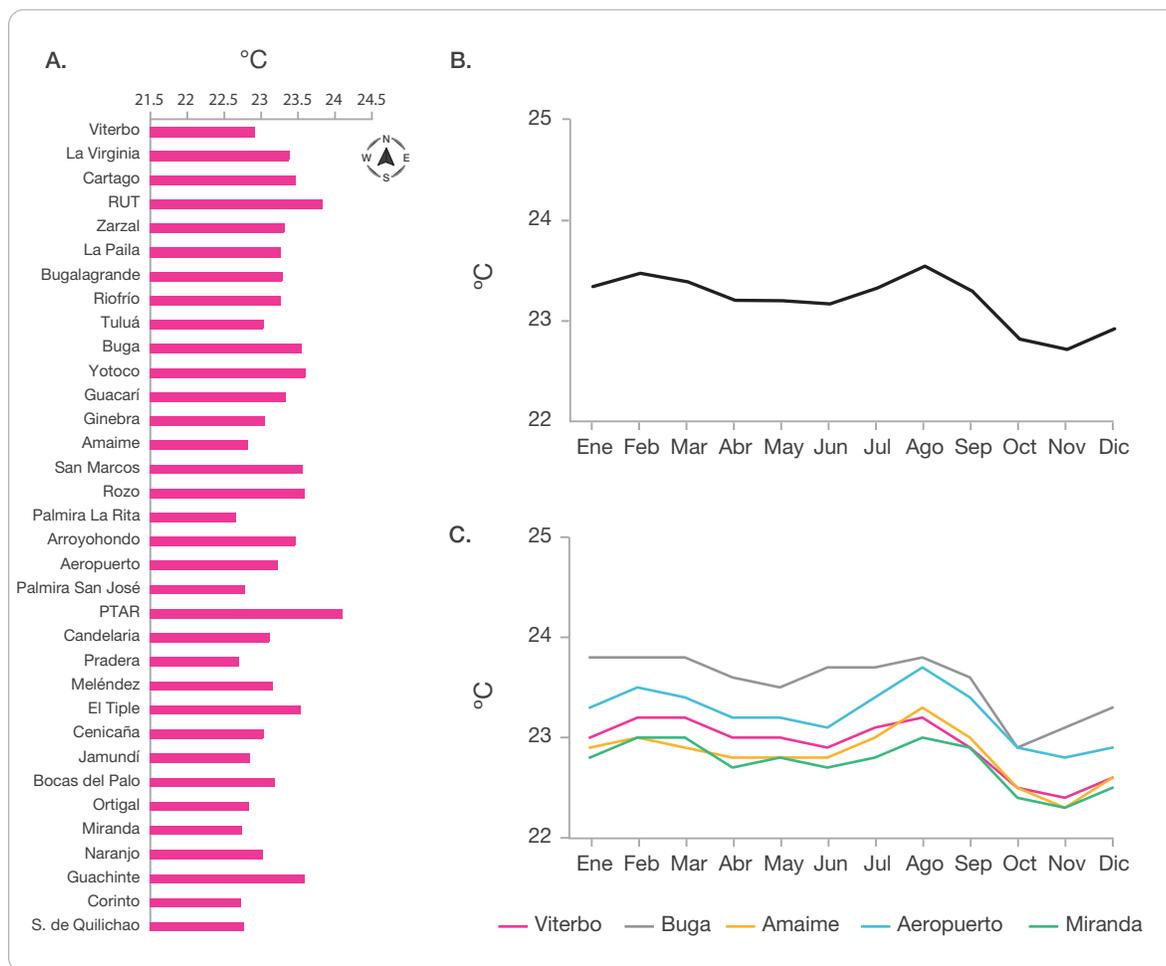
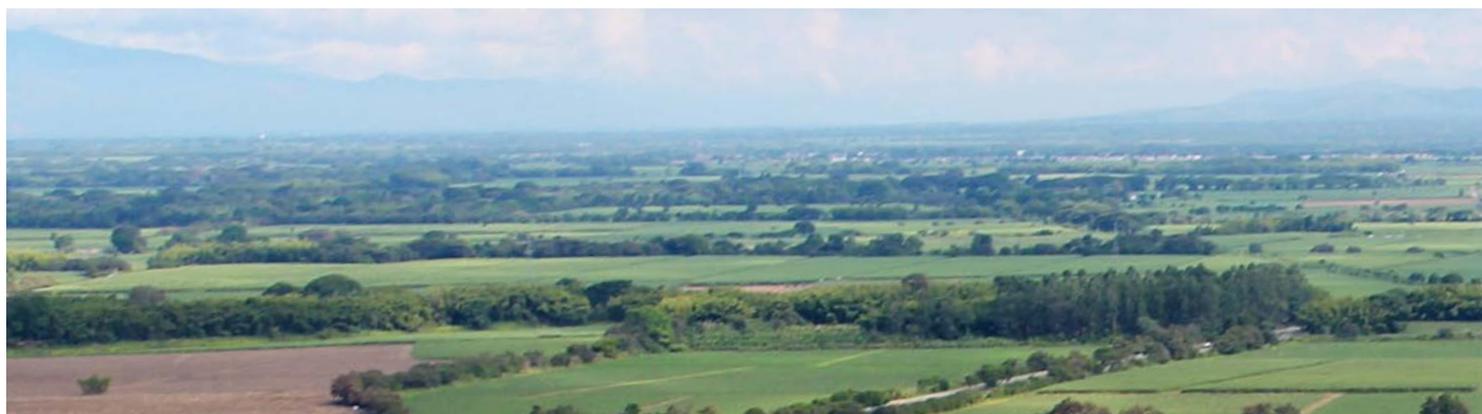


Figura 8. Valores medios diarios de temperatura media: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones situadas en localidades cañiculatoras del valle (C).

Nótese la poca variación en el eje y, así como la poca variación de esta variable dentro del año, con excepción de la disminución generalizada durante el trimestre octubre-diciembre.



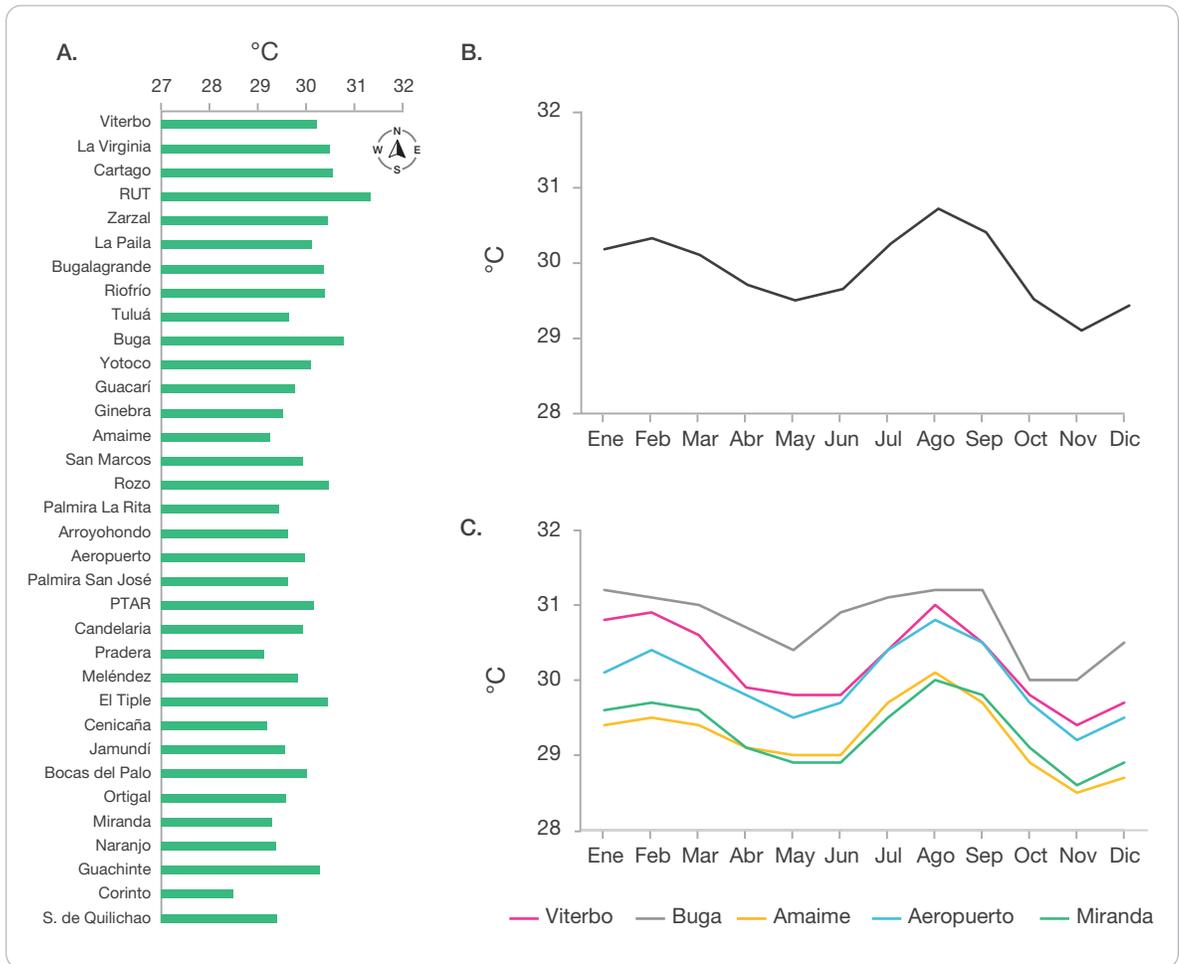


Figura 9. Valores medios diarios de la temperatura máxima: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C).

Nótese que la variación en el eje y es mayor que para la temperatura media.



La temperatura mínima media (Figura 10) tiene aun menos variación espacial que las otras dos variables mencionadas. Esto se explica por tres factores: 1) En la región no hay cañones o depresiones importantes en las que el aire frío, más pesado, pueda depositarse; 2) Dada la ubicación ecuatorial de la región, el balance de energía determina, específicamente, la pérdida de calor desde el suelo y desde el aire en superficie en horas de la noche; y 3) En la región es mínima la posibilidad de advección de aire frío. Así las cosas, tanto los mayores como los menores valores de temperatura

mínima media se concentran en la misma área: el centro y el sur del valle. Los mayores valores de temperatura mínima media (sitios con madrugadas más cálidas) se registran en PTAR (19.8 °C, +1.0), donde la isla de calor genera este comportamiento; Rozo (19.2 °C, +0.4), San Marcos (19.1 °C, +0.3), El Tiple (19.1 °C, +0.3) y Guachinte (19.1 °C, +0.3). Y los sitios con menores registros de temperatura mínima media son Jamundí (18.3 °C, -0.5), Palmira San José (18.4 °C, -0.4), Santander de Quilichao (18.4 °C, -0.4), Palmira La Rita (18.5 °C, -0.3) y Ortigal (18.5 °C, -0.3).

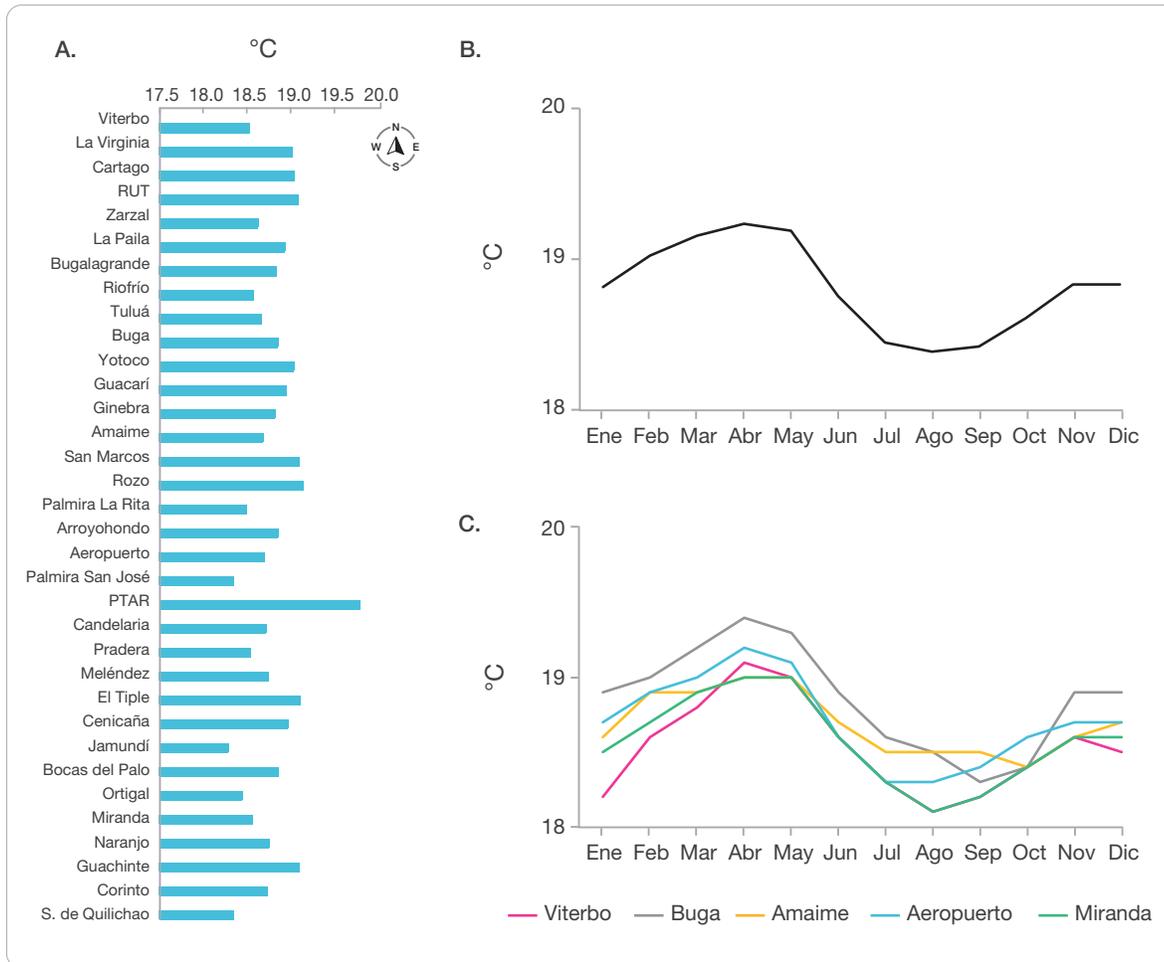


Figura 10. Valores medios diarios de la temperatura mínima: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C).

Nótese que la variación en el eje y es menor que para la temperatura media y máxima media.

De otra parte, los menores valores de temperatura mínima media mensual se dan en el segundo semestre del año, y los mayores, en el primer semestre. Por el patrón descrito, este efecto parece estar asociado con el perihelio y el afelio, ya que es generalizado en todas las localidades del valle del río Cauca, y no tiene que ver con las temporadas secas o lluviosas del año ni tampoco con los meses de mayor o menor radiación global. A pesar de que es baja la diferencia entre la temperatura máxima del primer semestre y la mínima del segundo semestre, ese decremento en el va-

lor de la temperatura mínima media entre agosto y octubre, sumado al incremento de la temperatura máxima media en ese mismo periodo, tiene implicaciones en la producción de sacarosa en la caña de azúcar.

Como se mencionó, entre julio y septiembre y entre enero y febrero se registran los mayores valores de oscilación media diaria de la temperatura del aire (Figura 11). El pico entre enero y febrero se asocia más con el incremento de la temperatura máxima en esa época del año,

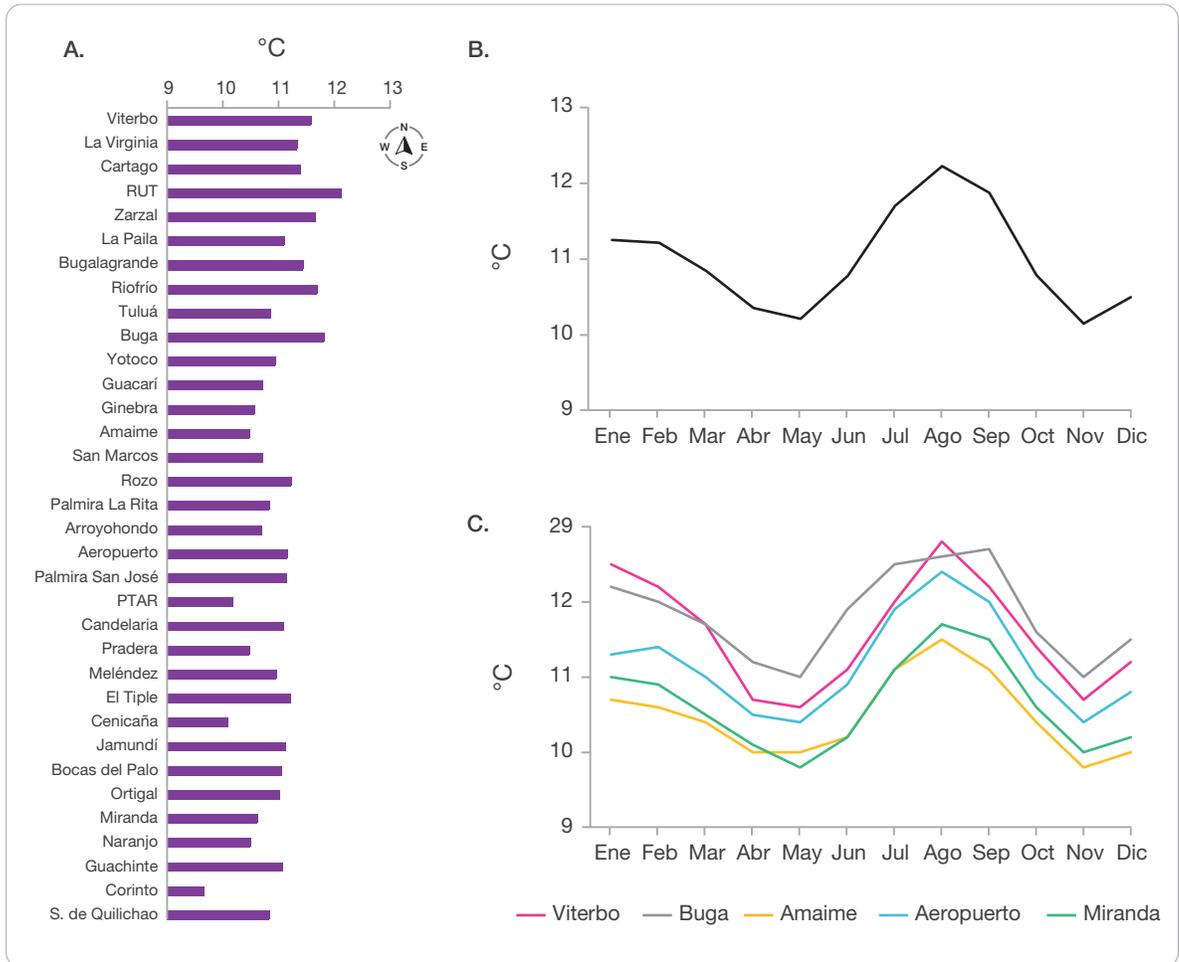


Figura 11. Valores medios diarios de la oscilación de la temperatura del aire: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C).

en tanto el pico entre julio y septiembre se debe a la conjunción entre el incremento de la temperatura máxima y los decrementos de la temperatura mínima. Los mayores valores de esta variable se registran en el norte del valle del río Cauca, zona donde también se registran los mayores valores de temperatura máxima media: RUT (12.1 °C, +1.1), Buga (11.8 °C, +0.7), Zarzal (11.7 °C, +0.6), Riofrío (11.7°C, +0.6) y Viterbo (11.6°C, +0.5). Las localidades donde se reportan los valores más bajos de esta variable son Corinto (9.7 °C, -1.3), Cenicaña (10.1 °C, -0.9), PTAR (10.2 °C, -0.8), Pradera (10.5 °C, -0.5) y Amaime (10.5 °C, -0.5), situadas en el sur del valle, con excepción de Amaime que está en el centro. Ahora bien, a pesar de que durante casi todo el año los mayores valores de oscilación de la temperatura se registran en el norte de la región, durante agosto y septiembre se presentan en localidades de la zona sur oscilaciones superiores a las que se registran en el norte (**Anexo 1e**).

En la escala diaria la temperatura del aire sigue el mismo patrón de la radiación global, es decir, la temperatura mínima se registra justo al amanecer, cuando el principal emisor de energía deja de ser la superficie y empieza el predominio del flujo de energía desde el cielo (**Figura 12**). La temperatura máxima se registra entre una y tres horas después del medio día solar. No obstante, según las localidades, se observan patrones característicos de distribución de la temperatura después del máximo de radiación global.

Por su naturaleza, producto de la pérdida de energía desde la superficie hacia las capas altas de la atmósfera, el valor medio de la temperatura mínima del aire ha tenido un comportamiento estable durante los últimos años. No sucede así con los valores medios de temperaturas medias y máximas medias del aire, los cuales se han incrementado durante el último lustro a partir de El Niño intenso que inició en 2015 (**Anexo 2**), cuando se registraron las mayores temperaturas máximas y medias de los últimos 25 años en el valle del río Cauca (31.4 °C y 24.1 °C, respectivamente). Por tal razón, durante 2017 y 2018, años considerados neutros (normales) pero con algunos meses

tipo La Niña, se presentaron altas temperaturas, cuando esta condición se consideraba propia de los años El Niño (Peña et al., 2001).

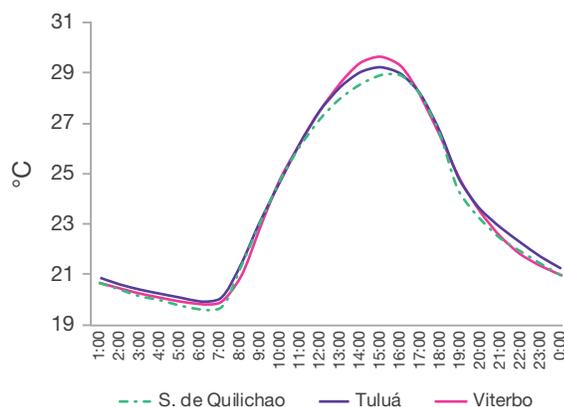


Figura 12. Comportamiento medio de la temperatura del aire a escala horaria durante el primer semestre de 2019 en tres estaciones: Santander de Quilichao, Tuluá y Viterbo.

Nótese cómo las máximas y las mínimas se relacionan totalmente con el balance de energía, casi siempre a la misma hora. Además, sobresale la forma diferencial en que se alcanza la máxima temperatura en las tres localidades, lo cual explica porque en el norte de la región (específicamente en la estación La Virginia) se registran altas temperaturas máximas, pero no hace parte (¿) de las estaciones con altas temperaturas medias.

Temperatura del suelo

Cenicaña sabe que el ambiente edáfico (cuyos factores principales son la humedad y la concentración de nutrientes) es determinante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, y por ello realiza experimentos para medir la temperatura del suelo a diferentes profundidades. Según Valverdi et al. (2019), las condiciones del entorno en el que se desarrollan las raíces afectan el consumo de agua y nutrientes por la planta, y al igual que ellos, numerosos autores recaban la importancia de esta variable en la productividad del cultivo.

En general, la temperatura ideal del suelo para una óptima germinación de los esquejes debe ser entre 32 °C y 38 °C (Marin, 2008). Cuando la tem-

peratura desciende por debajo de los 18 °C disminuye notoriamente el crecimiento de las raíces; por el contrario, su crecimiento se acelera progresivamente hasta cuando la temperatura alcanza los 35 °C, por encima de los cuales nuevamente empiezan a decrecer las raíces (James, 2004).

En estudios realizados en mesocosmos (sistema experimental al aire libre que examina el entorno natural en condiciones controladas) en los que se simularon condiciones de “plantilla” sin residuos sobre la superficie, se evidenció el gran diferencial térmico entre capas adyacentes de suelo; asimismo, se encontraron diferencias en los patrones de distribución de la temperatura durante el día y la noche como respuesta a la textura. Los resultados obtenidos hasta el momento, reportados por Peña y Mendoza (2020), muestran cómo en condiciones secas, en suelos desnudos, en los primeros centímetros bajo la superficie se registran amplitudes térmicas importantes que se acentúan en suelos arenosos (Figura 13). De otro lado, se encontró que entre los 10 cm y los 18 cm de profundidad la temperatura del

suelo varía poco del día a la noche. Esta zona del suelo es más superficial en suelos arcillosos y en arenosos y más profunda en suelos francos. Así como la franja “buffer” de temperatura del suelo es estrecha, la temperatura a la que estas franjas alcanzan ese efecto es similar entre texturas. No obstante, se encuentran diferencias mínimas que podrían ser importantes para la fauna del suelo: por ejemplo, en suelos arenosos la temperatura es de cerca de 30.2 °C; en arcillosos, de 29.4 °C y en francos, de 28.8 °C.

Hay una relación, aunque no muy marcada, entre la temperatura media diaria del aire y la temperatura media diaria de un suelo desnudo. La correspondencia más estrecha entre la temperatura del aire y la temperatura del suelo se detecta a los 5 cm y la más amplia, a los 35 cm. Esto es importante, ya que en modelos que evalúan el balance de carbono en perfiles de suelo se utiliza la temperatura media del aire para caracterizar el comportamiento de la materia orgánica como función de la temperatura del suelo (p. ej. Kemanian & Stockle, 2010).

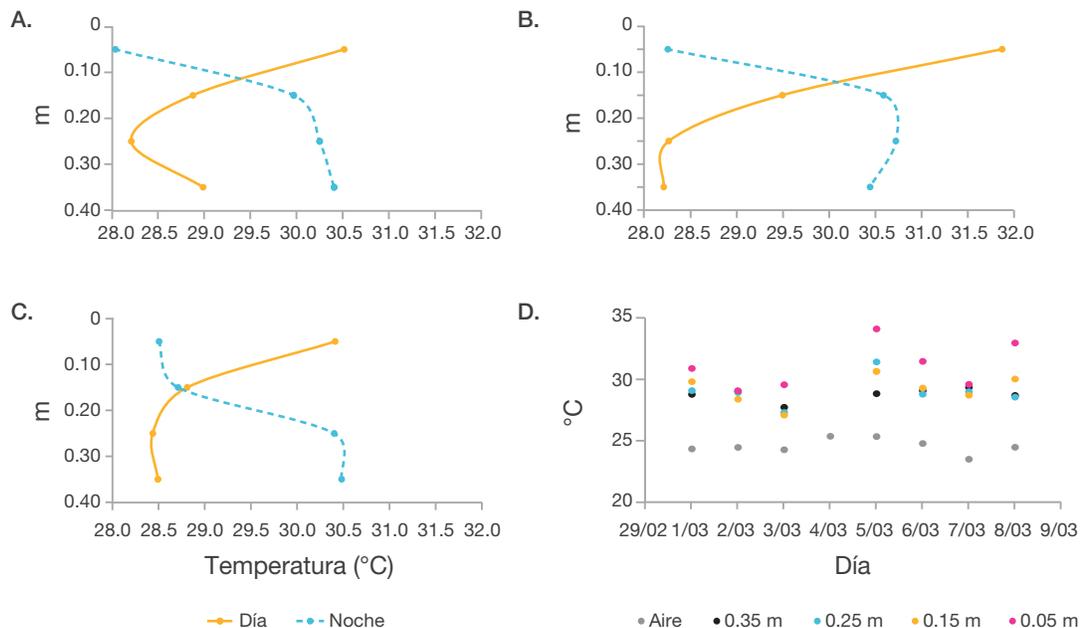


Figura 13. Temperatura media del suelo durante el día y la noche en suelos de textura: arcillosa (A); arenosa (B); franca (C); ubicados en la estación Cenicaña. Asimismo, se ilustra: comparación entre la temperatura media diaria del aire (medida en condiciones estándar) y la temperatura media diaria del suelo (D).

Humedad del aire

La humedad del aire es la medida de la cantidad de vapor de agua que contiene, y se expresa comúnmente como masa total de vapor de agua por unidad de volumen, como es el caso de la humedad absoluta (gramos de agua por metro cúbico de aire), o como masa de vapor de agua por masa total de aire (gramos de agua por kilogramos de aire), como en el caso de la humedad específica. Junto con la relación de mezcla, que describe la correspondencia entre la masa total de agua y la masa de aire seco, las dos variables anteriores podrían llamarse medidas totalizadoras de la humedad. No obstante, son más usuales las medidas relativas, así calificadas porque indican la relación entre el contenido actual de vapor de agua y la máxima cantidad de agua que podría contener un volumen de aire (saturación), como es el caso de la humedad relativa y el déficit de presión de vapor, aunque también se puede expresar como la temperatura a la cual se debe enfriar el aire (manteniendo presión constante) para que ocurra la saturación, lo que se conoce como temperatura del ‘punto de rocío’.

Los valores de humedad relativa del aire que entrega la red meteorológica del sector sucroenergético son calculados y caracterizan la cantidad de vapor de agua contenida en aquel. Dado que a mayor temperatura del aire es mayor su capacidad para contener vapor de agua,⁵ los cambios de temperatura explican, en gran medida, los cambios en los valores de la humedad relativa (Figura 14).

Debido a la estrecha relación entre la temperatura del aire y la humedad relativa, es normal que, al igual que la temperatura media, los valores

de humedad varíen poco en el espacio. En el valle del río Cauca el valor medio de humedad relativa es 79%; los mayores valores se registran en las localidades con baja temperatura media, y viceversa. En Miranda (83%, +4), Santander de Quilichao (83%, +4), La Virginia (82%, +3), Ortigal (81%, +2) y Palmira La Rita (81%, +2) se registran las mayores humedades, y sus valores más bajos se reportan en PTAR (75%, -4), RUT (76%, -3), Yotoco (76%, -3), Guachinte (76%, -3) y Buga (77%, -2) (Figura 15). En el mismo sentido, es lógico que los mayores valores de humedad relativa del aire en la región se presenten en los meses con menores temperaturas (abril-mayo y noviembre-diciembre), los cuales coinciden con la presencia de la zona de confluencia intertropical, que eleva un poco durante ellos esta variable.

Por el incremento de las temperaturas medias y máximas medias durante 2015-2019, los valores de humedad relativa han tendido a atenuarse. Por ejemplo, en 2017, a pesar de que se presentaron lluvias por encima del promedio, como se verá más adelante, el valor de la humedad relativa escasamente alcanzó el promedio de la región; y en 2000, durante el cual llovió menos que en 2017, el valor medio de humedad relativa estuvo seis puntos porcentuales por encima del valor medio (Anexo 1f).

Los valores de humedad relativa del aire que entrega la red meteorológica del sector sucroenergético son calculados y caracterizan la cantidad de vapor de agua contenida en aquel.

⁵ Campbell & Norman (1998) brindan una descripción física del fenómeno. No obstante, el punto de partida es nuevamente el hecho de que el aire se comporta como un gas ideal.

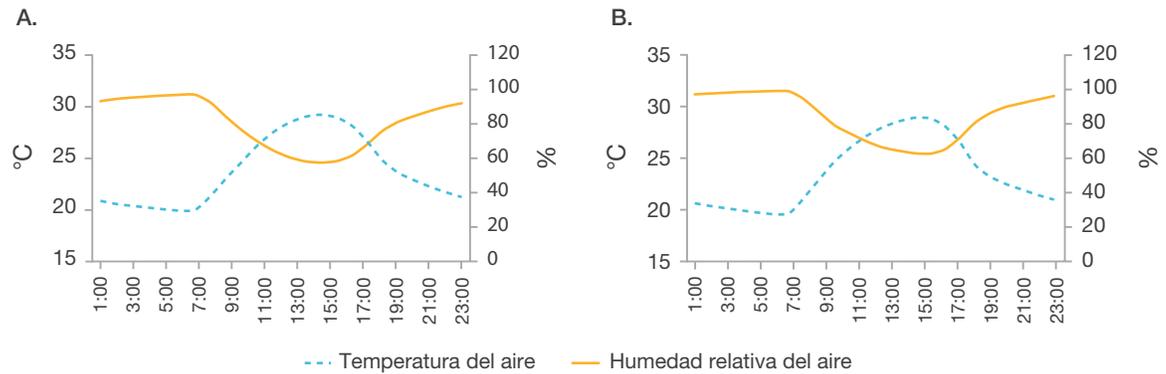


Figura 14. Valores medios horarios de temperatura y humedad relativa medidos durante el primer semestre de 2019 en las estaciones: Tuluá (A); Santander de Quilichao (B).

Nótese la relación negativa entre las dos variables.

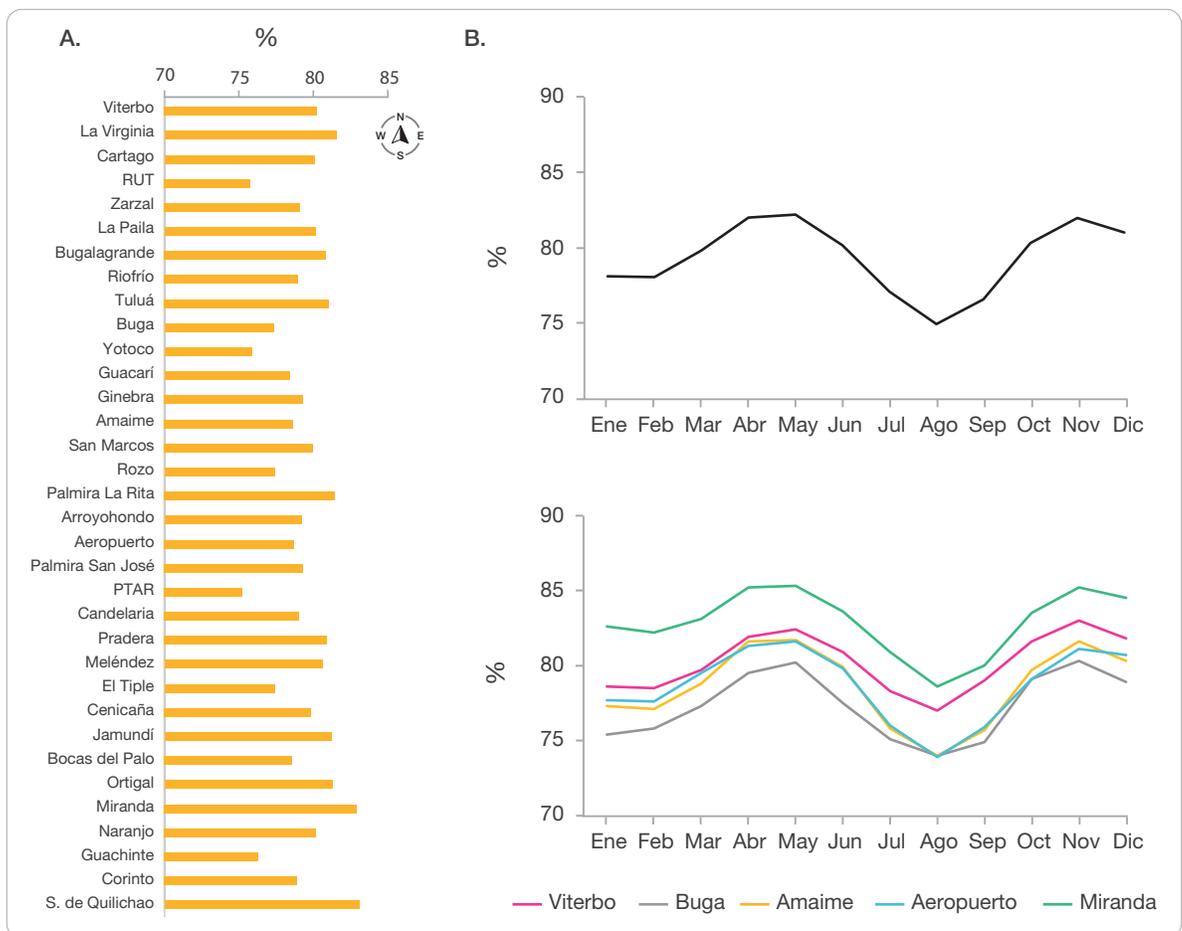


Figura 15. Valores medios diarios de la humedad relativa del aire: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C). Nótese la relación de esta variable con la variable temperatura del aire.

Precipitación

En el valle del río Cauca es este el elemento del clima que más varía temporal y espacialmente, y uno de los factores que más afecta la productividad del cultivo de la caña de azúcar (Chica et al., 2020). Por lo tanto, para estudiar e interpretar el efecto de la lluvia sobre la producción y el rendimiento, los usuarios de la información meteorológica del sector suroenergético de la caña de azúcar, además del acumulado de lluvia por unidad de tiempo, utilizan diversas variables para caracterizarla. Así, constantemente se analizan índices derivados de los datos diarios de precipitación, tales como número de días con lluvia por unidad de tiempo (semanas, décadas, meses o años), número de días secos y número de días con lluvia superior o inferior a x mm. En esta caracterización se analizarán solamente el acumulado de lluvias y el número de días lluviosos.

La región tiene una precipitación media anual de 1220 mm y un promedio de 177 días lluviosos por año (Figura 16). Las localidades más lluviosas (lluvia por año) se ubican en los extremos del valle: Viterbo (2017 mm, +797) y Virginia (1879 mm, +659) en el norte y Guachinte (1839 mm, +619), Corinto (1753 mm, +533) y Santander de Quilichao (1553 mm, +333) en el sur. No obstante, no hay una relación directa entre los sitios más lluviosos y los sitios con mayor número de días con precipitación al año (Figura 17). Con algunas excepciones (p. ej., Corinto), las localidades con mayor número de días lluviosos por año se concentran en el norte: Viterbo (230 días, +53), Virginia (215 días, +38), Cartago (198 días, +21), RUT (196 días, +19) y Corinto (199 días, +22). Este hecho puede estar asociado con la cercanía de estos asentamientos a la zona de influencia del “chorro del Chocó” (Poveda, G.; Mesa, J., 1999). Por su parte, las zonas más secas están ubicadas en el centro del valle, área de influencia

del efecto Föhn: Rozo (791 mm, -429), San Marcos (829 mm, -391), Aeropuerto (867 mm, -353), Arroyohondo (893 mm, -327) y PTAR (899 mm, -321). Sin embargo, en este caso las zonas de menor volumen de lluvia anual sí coinciden con la zona que tiene el menor número de días lluviosos por año. El menor número de días con precipitación se registra en Arroyohondo (141 días, -36), Rozo (146 días, -31), San Marcos (148 días, -29), Aeropuerto (154 días, -23) y Candelaria (155 días, -22) (Anexo 1g y 1h).

El principal factor de variabilidad intra anual de la lluvia es la zona de confluencia intertropical. Por efecto de este fenómeno, las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas, que alternan con cuatro temporadas de transición, lo que se conoce como régimen bimodal (Acevedo, 1955; Cortés y Barrios, 2010). No obstante, de acuerdo con Chica et al. (2020), este patrón tiene un componente local, asociado probablemente con la latitud, que se refleja en tres diferentes tipos de bimodalidad media en el valle del río Cauca. Así, en el norte, en el valle del río Risaralda, solo hay una época seca marcada, a principio de año, en la que en esa zona se registran datos acumulados medios mensuales de lluvia inferiores a 100 mm, tal como sucede en enero en Viterbo. En esa misma zona, a mediados de año se detecta una reducción de la precipitación acumulada mensual. Sin embargo, la reducción en los valores de la variable, que se presenta entre julio y agosto, no genera un déficit de precipitación suficiente para catalogar como seco este periodo. En el centro del valle sí ocurre el patrón bimodal típico reportado por Cortés & Barrios (2010), con dos temporadas secas y dos lluviosas proporcionales, como sucede en Aeropuerto. En el sur se presenta el mismo efecto que en el norte, es decir, solo hay una temporada seca bien definida: de julio a agosto. A principio

de año no hay en esta zona una reducción significativa de la precipitación, como sí sucede en el resto del valle, por ejemplo, en Miranda.

A escala diaria, la lluvia es predominantemente nocturna a lo largo del valle (Cortés et al., 2018), por lo cual es baja la probabilidad de que caiga lluvia durante el día (Figura 18). En la escala interanual se observa una alta variabilidad en los datos de precipitación total anual. A pesar de que Peña et al. (2001) encontraron una relación entre los índices que caracterizan el ENOS y la lluvia, pero sobre todo el ENOS con el número de días lluviosos, en los últimos años esta rela-

ción ha cambiado, o al menos la relación entre ONI y precipitación. Por ejemplo, en 2017 y 2018, años mayoritariamente neutros, y en 2019, año influenciado por El Niño, se registraron lluvias superiores al promedio del valle, cuando, según Peña, el exceso hídrico es característico de La Niña. A pesar de que el análisis objeto de estudio solo incluye datos de los últimos 25 años, estos patrones de alternancia entre grupos de años secos y lluviosos asociados a moduladores de baja frecuencia ya habían sido descritos en series más largas, p. ej. en la estación La Rita, del ingenio Manuelita y en la estación ICA-Palmira (Acevedo, 1955; Peña, 1982).

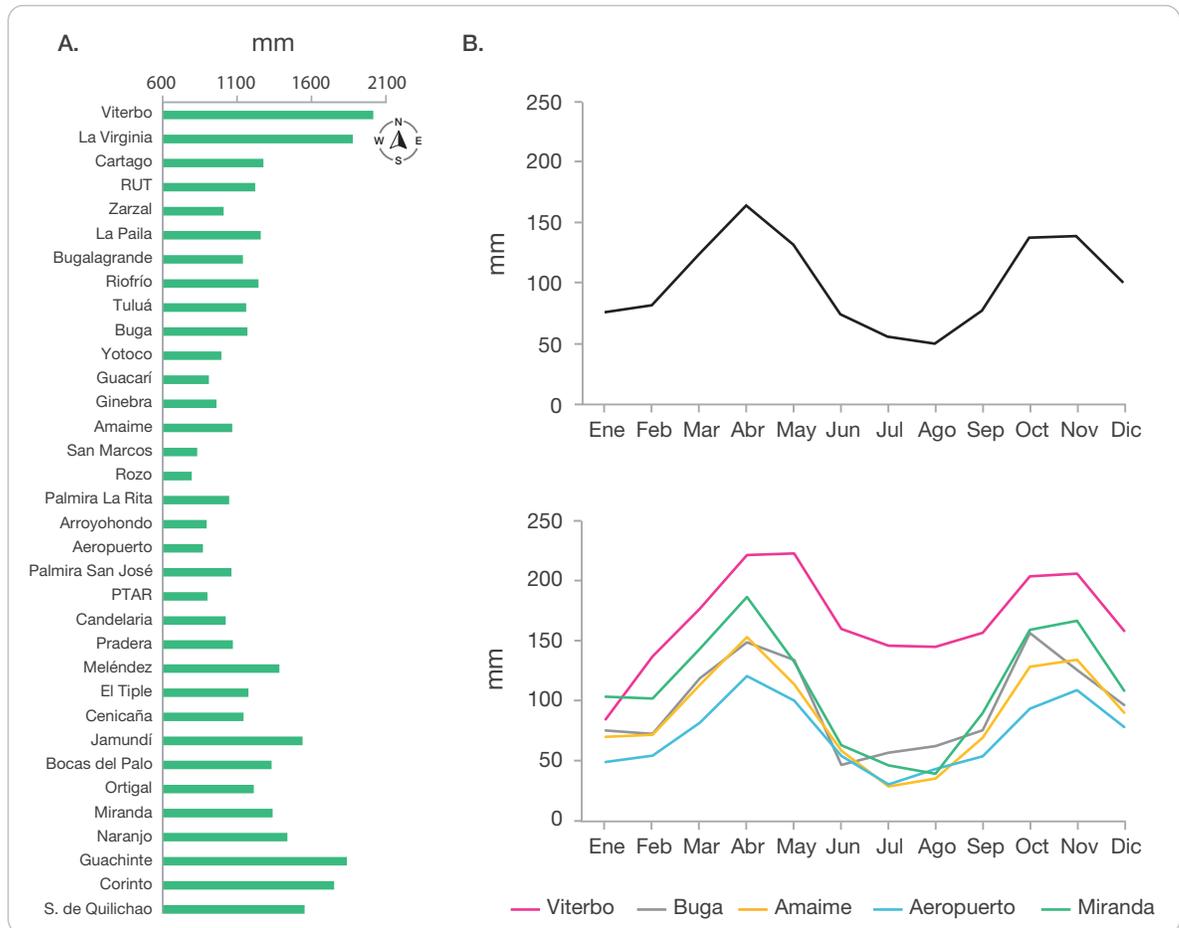


Figura 16. Valores acumulados anuales de precipitación: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C). Nótese la diferencia en la distribución intra anual de las lluvias por localidades.

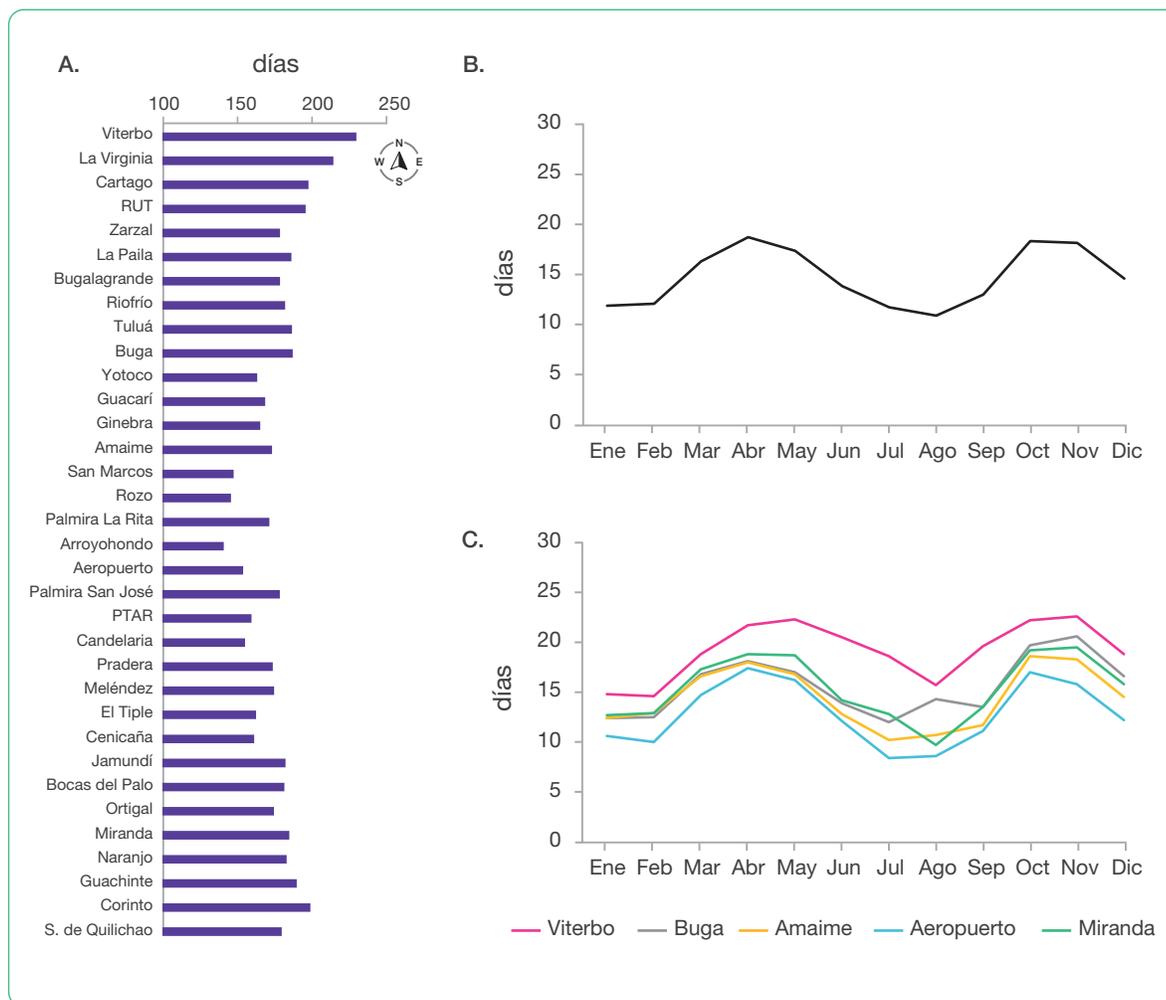


Figura 17. Número de días con precipitación: comportamiento espacial en el año (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañiculatoras del valle (C).

Nótese la diferencia en la distribución intra anual de las lluvias por localidades.



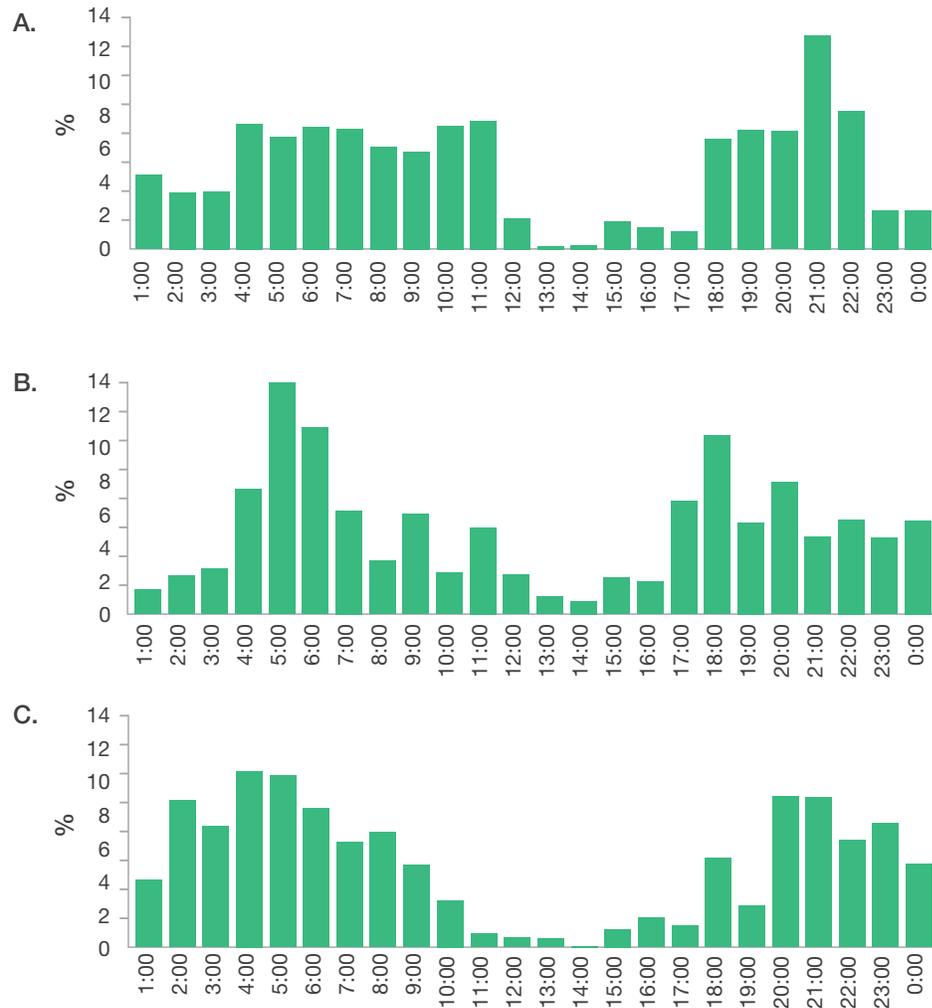


Figura 18. Distribución porcentual de la lluvia media horaria durante el primer semestre de 2019 en las estaciones: Santander de Quilichao (A); Tuluá (B); Viterbo (C).

Nótese cómo en general el volumen de precipitación es menor entre las 11:00 h y las 17:00 h.

En el valle del río Cauca la precipitación es el elemento del clima que más varía temporal y espacialmente, y uno de los factores que más afecta la productividad del cultivo de la caña de azúcar.

Evaporación

Los productores de caña de azúcar del valle del río Cauca utilizan la evaporación de una superficie libre de agua (Tanque Clase A, TCA) como referencia para determinar las necesidades hídricas del cultivo. A pesar de que internacionalmente se utiliza la evapotranspiración de referencia (ET_0), los productores de caña de azúcar apelan a la ‘evaporación calculada’ para determinar el ‘poder desecante de la atmósfera’. La evaporación calculada es una variable sintética, o índice, generada con base en los valores diarios de radiación global, oscilación de la temperatura del aire, velocidad media del viento a 10 m de altura y humedad relativa del aire (Peña et al., 2005). Esta variable se presenta en los reportes de la red meteorológica y es insumo para el programa de balance hídrico automatizado, desarrollado por Cenicaña para la programación de los riegos. De acuerdo con Carbonell et al. (2011), cuando se necesita el dato de ET_0 se multiplica la evaporación calculada por un coeficiente del tanque de evaporación, cuyo valor es 0.7.

Es importante destacar que aunque los procesos de evaporación del agua libre y la ET_0 son semejantes en sus aspectos físicos, para poder convertir el valor de evaporación TCA en un valor aproximado de ET_0 que pueda ser utilizado como parámetro de programación del riego, deben considerarse las condiciones meteorológicas tanto regionales como locales, en relación con el medio circundante al TCA; aunque el coeficiente es similar por las condiciones parecidas del medio circundante donde está instalado el TCA, las condiciones meteorológicas, como se ha mencionado, no lo son. Por este motivo es importante, según Allen et al. (1998), utilizar los índices que permiten una mejor aproximación de la ET_0 que el TCA, y según las condiciones debe usarse un coeficiente entre 0.5 a 0.85 de la evaporación.

El valor medio anual de evaporación calculada en la región es 1658 mm (Figura 19). Los mayores valores de esta variable se presentan en Zarzal (2001 mm, +343) y en el centro del valle, en San Marcos (1966 mm, +308), Aeropuerto (1906 mm, +248), Arroyohondo (1888 mm, +230) y Guacarí (1862 mm, +204). Esto quiere decir que en el centro del valle, por cuenta del efecto Föhn, no solo se presentan las más bajas precipitaciones de la región, sino las mayores demandas atmosféricas de agua. De otro lado, las más bajas evaporaciones ocurren en el sur del valle del río Cauca, específicamente en El Naranjo (1387 mm, -270), Santander de Quilichao (1413 mm, -244), Miranda (1430 mm, -227) y Jamundí (1457 mm, -200) y en el centro del valle, hacia la cordillera Central, en la estación Ginebra (1491 mm, -167). Lo anterior significa que a diferencia del centro, donde se presentan altas evaporaciones y bajas precipitaciones, en la zona sur se presentan altas precipitaciones y bajas evaporaciones, lo que se traduce en un ambiente diferente al del resto del valle (Anexo 1i).

En la escala multianual el valor medio de esta variable no muestra tendencia ni respuesta al ONI. Por ejemplo, en 2015, cuando se presentaron los máximos valores de temperatura del aire de las últimas décadas (El Niño 2015), el valor de evaporación calculado estuvo por debajo de la evaporación calculada durante 2014 y 2016.

A diferencia del centro, donde se presentan altas evaporaciones y bajas precipitaciones, en la zona sur se presentan altas precipitaciones y bajas evaporaciones.

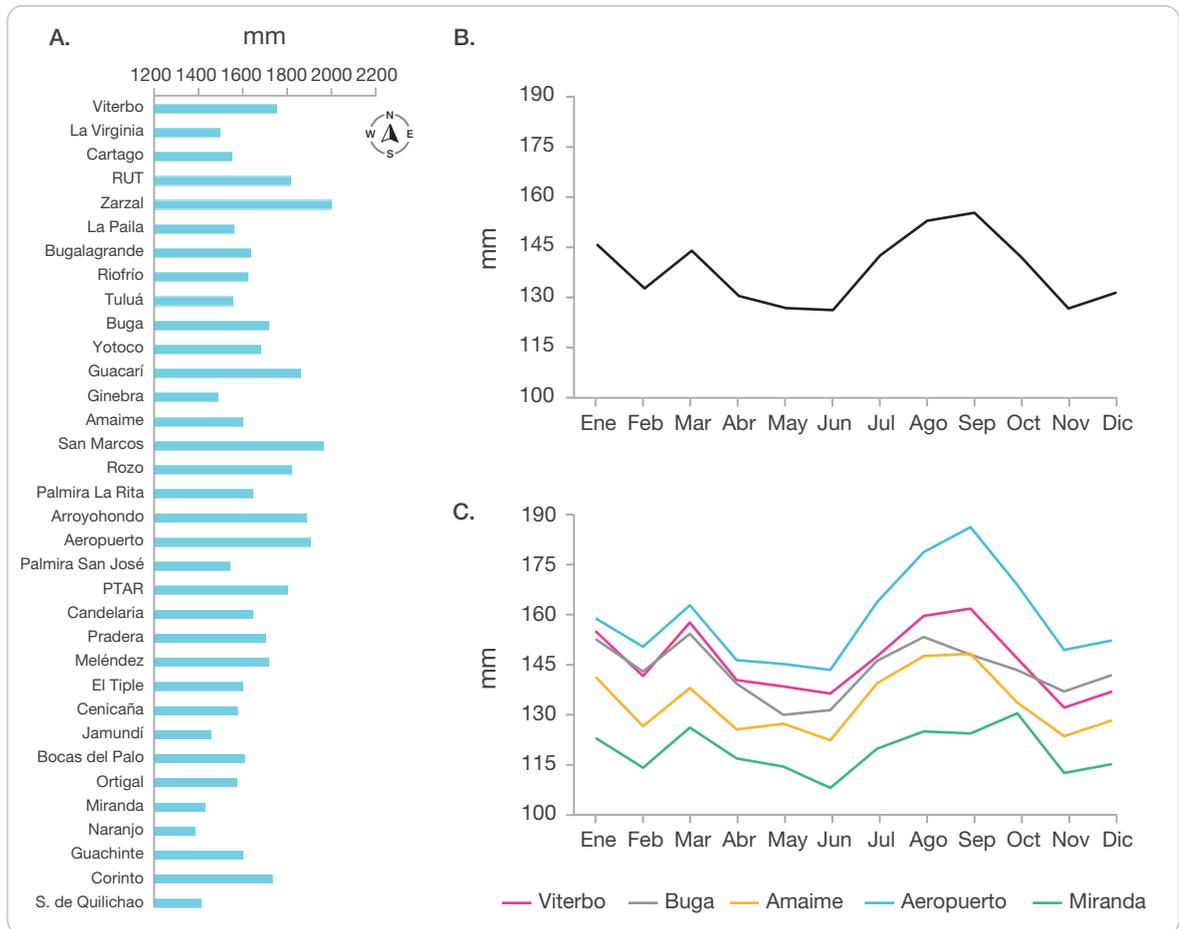


Figura 19. Evaporación media anual: comportamiento espacial en el valle del río Cauca (A); comportamiento temporal medio en toda el área, como un promedio de todas las estaciones (B); comportamiento temporal medio en cinco estaciones que representan localidades cañicultoras del valle (C).

Nótese el mismo patrón por efecto de ser un índice calculado con base en otras variables.





Conclusión

El valle del río Cauca, región productora de caña de azúcar en Colombia, tiene un clima ecuatorial, por lo cual las variables que describen la energía disponible en la atmósfera (radiación global y temperatura del aire) experimentan escasas variaciones a través del año. Esto se debe a la poca variación latitudinal y altitudinal de la planicie en la que se siembra la caña de azúcar en la región. Las variaciones espaciales de temperatura del aire y radiación solar se explican por condiciones de microescala, asociadas a la orografía y el uso del suelo. La lluvia es el elemento del clima con mayor variación, tanto espacial como temporalmente, y por tanto existen en el valle del río Cauca zonas secas con lluvias anuales inferiores a 900 mm y zonas húmedas con lluvias superiores a 1800 mm por año. De igual manera, hay marcadas variaciones en la forma como se distribuye el agua precipitada a través del año: ello se traduce en zonas bimodales canónicas que se ajustan al comportamiento idealizado, con dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas; pero también se encuentran variaciones a este patrón, como sucede en el norte y el sur de la región. En los extremos latitudinales de este valle el patrón tiende a ser monomodal: la época seca importante del sur va de julio a septiembre, y la época seca importante del norte se concentra en el mes de enero. Cuenta el valle del río Cauca, por tanto, a pesar del condicionante ecuatorial, con un mosaico de climas que se sintetizan en diferentes zonas climáticas que son la base para la toma de decisiones agrícolas en la región.



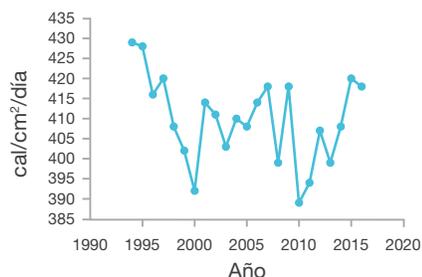
Anexo

Anexo 1. Promedio mensual de los valores de las variables meteorológicas	32
a. Radiación global	32
b. Temperatura media	33
c. Temperatura máxima media	34
d. Temperatura mínima media	35
e. Oscilación media diaria de la temperatura	36
f. Humedad relativa media.....	37
g. Precipitación.....	38
h. Número de días con precipitación	39
i. Evaporación	40
Anexo 2. Tabla con el histórico de fases ENOS. Clasificación tipo NOAA, basada en los valores del Índice Oceánico de El Niño (ONI)	41

Anexo 1. Promedio mensual de los valores de las variables meteorológicas.

Anexo 1a. Radiación global.

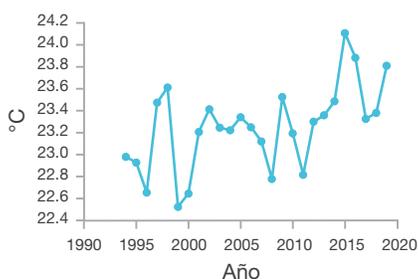
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	436	444	453	432	416	420	446	461	458	435	413	406
La Virginia	446	454	461	437	407	396	424	445	460	444	427	417
Cartago	436	448	451	439	431	436	455	463	456	439	419	415
RUT	413	424	421	424	418	416	425	428	443	417	397	402
Zarzal	435	453	447	449	441	446	471	479	447	440	425	422
La Paila	384	405	410	393	383	382	406	426	415	389	376	375
Bugalagrande	403	430	430	392	383	388	413	420	428	409	394	378
Riofrío	417	440	428	403	388	392	422	430	450	414	389	389
Tuluá	454	465	464	438	424	428	445	464	445	444	432	430
Buga	405	413	415	400	376	381	396	398	397	398	401	395
Yotoco	405	404	402	386	360	354	378	387	406	395	384	382
Guacarí	450	454	457	425	403	407	435	454	458	446	431	425
Ginebra	391	376	369	378	367	366	392	408	395	396	377	371
Amaime	369	375	377	364	355	357	372	389	385	373	347	343
San Marcos	447	459	460	448	431	433	462	485	476	447	420	420
Rozo	411	423	420	405	379	381	405	407	425	404	387	383
Palmira La Rita	402	400	402	401	379	374	392	400	410	401	377	379
Arroyohondo	387	407	393	393	375	378	407	433	444	401	363	362
Aeropuerto	431	444	442	429	409	412	440	452	452	438	416	409
Palmira San José	368	385	388	372	349	342	369	380	382	386	360	354
PTAR	396	411	417	415	395	392	438	452	461	419	374	365
Candelaria	418	438	438	421	396	388	407	423	434	429	403	391
Pradera	420	414	407	386	355	342	365	378	396	401	387	383
Melendez	430	443	442	432	410	412	437	455	451	426	402	397
El Tiple	397	403	428	402	373	371	382	386	415	364	387	386
Cenicaña	398	402	397	394	374	365	381	392	400	394	374	380
Jamundí	401	422	421	408	381	385	402	415	422	409	385	375
Bocas del Palo	414	425	426	408	401	396	413	427	417	403	385	399
Ortigal	427	426	428	420	393	389	408	409	423	419	397	389
Miranda	411	423	421	405	383	366	387	398	414	420	401	388
Naranjo	386	389	384	377	355	351	360	381	395	385	365	372
Guachinte	409	412	406	395	369	366	375	385	403	384	374	372
Corinto	426	428	417	393	371	369	393	410	414	409	390	390
S. de Quilichao	402	403	408	398	380	363	380	398	403	400	382	371
VRC	412	422	421	408	389	387	408	421	426	411	392	389



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1b. Temperatura media.

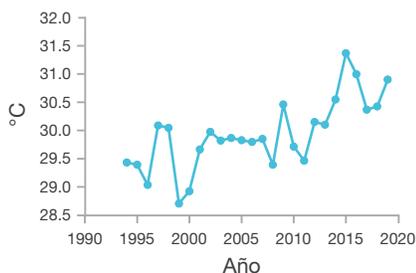
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	23.0	23.2	23.2	23.0	23.0	22.9	23.1	23.2	22.9	22.5	22.4	22.6
La Virginia	23.6	23.7	23.6	23.4	23.4	23.3	23.5	23.6	23.4	23.0	22.9	23.2
Cartago	23.6	23.8	23.8	23.5	23.5	23.5	23.6	23.8	23.5	23.1	22.9	23.1
RUT	24.3	24.3	24.2	23.9	23.9	23.8	23.9	24.0	23.6	23.2	23.3	23.6
Zarzal	23.4	23.6	23.6	23.4	23.5	23.4	23.5	23.6	23.2	22.9	22.7	23.0
La Paila	23.3	23.6	23.5	23.3	23.3	23.3	23.4	23.6	23.3	22.9	22.7	23.0
Bugalagrande	23.4	23.6	23.5	23.4	23.4	23.3	23.4	23.5	23.2	22.9	22.8	23.1
Riofrío	23.5	23.6	23.5	23.3	23.3	23.3	23.3	23.5	23.4	22.7	22.8	23.0
Tuluá	23.1	23.3	23.2	23.0	23.1	23.0	23.2	23.3	23.2	22.6	22.6	22.8
Buga	23.8	23.8	23.8	23.6	23.5	23.7	23.7	23.8	23.6	22.9	23.1	23.3
Yotoco	23.8	23.9	23.8	23.7	23.5	23.6	23.8	24.1	23.5	23.1	23.1	23.3
Guacarí	23.5	23.6	23.6	23.4	23.3	23.3	23.5	23.7	23.4	22.9	22.8	23.1
Ginebra	23.2	23.3	23.1	23.1	23.1	23.1	23.2	23.5	23.1	22.7	22.5	22.7
Amaime	22.9	23.0	22.9	22.8	22.8	22.8	23.0	23.3	23.0	22.5	22.3	22.6
San Marcos	23.7	23.8	23.7	23.5	23.6	23.5	23.7	24.0	23.7	23.2	23.1	23.3
Rozo	23.9	23.8	23.8	23.6	23.5	23.7	23.7	23.8	23.8	23.1	23.1	23.3
Palmira La Rita	22.8	22.9	22.8	22.7	22.7	22.6	22.8	23.0	22.8	22.3	22.2	22.4
Arroyohondo	23.7	23.8	23.7	23.4	23.4	23.4	23.6	23.9	23.7	23.0	22.9	23.1
Aeropuerto	23.3	23.5	23.4	23.2	23.2	23.1	23.4	23.7	23.4	22.9	22.8	22.9
Palmira San José	22.9	23.0	22.9	22.8	22.7	22.7	22.9	23.2	22.9	22.5	22.3	22.6
PTAR	24.2	24.4	24.2	23.9	24.1	24.0	24.4	24.7	24.3	23.8	23.6	23.7
Candelaria	23.2	23.4	23.2	23.1	23.1	23.0	23.3	23.5	23.3	22.9	22.6	22.8
Pradera	22.8	23.0	22.9	22.7	22.6	22.6	22.8	23.1	22.8	22.4	22.3	22.5
Meléndez	23.2	23.4	23.3	23.2	23.2	23.1	23.3	23.5	23.4	22.8	22.6	22.9
El Tiple	23.8	23.7	23.6	23.4	23.5	23.6	23.7	23.9	23.9	23.1	23.1	23.2
Cenicaña	23.1	23.3	23.2	23.0	23.0	23.0	23.2	23.5	23.2	22.7	22.5	22.7
Jamundí	22.8	23.2	23.0	22.9	23.0	22.9	22.9	23.2	22.9	22.5	22.4	22.5
Bocas del Palo	23.3	23.5	23.4	23.4	23.3	23.1	23.2	23.4	23.3	22.8	22.7	22.9
Ortival	22.9	23.1	23.1	22.9	22.8	22.7	22.9	23.1	22.9	22.6	22.5	22.6
Miranda	22.8	23.0	23.0	22.7	22.8	22.7	22.8	23.0	22.9	22.4	22.3	22.5
Naranjo	23.1	23.3	23.2	23.0	23.0	22.9	23.1	23.4	23.2	22.8	22.5	22.8
Guachinte	24.0	23.9	23.8	23.5	23.5	23.6	23.6	23.8	23.5	23.2	23.4	23.3
Corinto	22.8	22.9	22.8	22.6	22.6	22.7	23.0	23.3	23.0	22.4	22.2	22.5
S. de Quilichao	23.0	23.0	23.0	22.7	22.7	22.6	22.8	23.1	22.9	22.6	22.4	22.5
VRC	23.3	23.5	23.4	23.2	23.2	23.2	23.3	23.5	23.3	22.8	22.7	22.9



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1c. Temperatura máxima media.

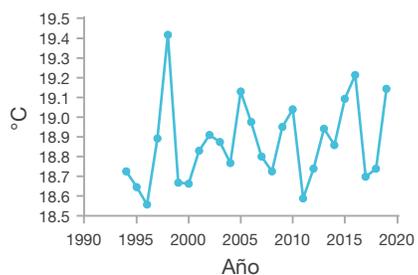
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	30.8	30.9	30.6	29.9	29.8	29.8	30.4	31	30.5	29.8	29.4	29.7
La Virginia	31	31.2	30.9	30.2	29.8	30	30.7	31.2	31	30.1	29.6	30.1
Cartago	30.7	31.1	30.8	30.2	30	30.3	31	31.6	31	30.2	29.7	30.1
RUT	32	32	31.5	30.9	30.9	31.3	31.8	32.1	32	30.6	30.2	30.7
Zarzal	30.5	30.8	30.5	30.2	30.3	30.6	31	31.5	30.7	30	29.3	29.9
La Paila	30.4	30.7	30.3	29.8	29.7	30	30.6	31.1	30.6	29.6	29.1	29.6
Bugalagrande	30.7	30.8	30.6	30.1	30.1	30.1	30.8	31.2	30.7	29.9	29.5	29.9
Riofrío	30.8	31	30.6	30.1	30	30.2	30.7	30.9	31	29.7	29.6	30
Tuluá	30.1	30.2	29.9	29.3	29.1	29.2	29.9	30.2	30	29.3	29	29.4
Buga	31.2	31.1	31	30.7	30.4	30.9	31.1	31.2	31.2	30	30	30.5
Yotoco	30.6	30.6	30.4	29.9	29.6	29.8	30.3	30.9	30.3	29.6	29.3	29.8
Guacarí	30	30.2	30.1	29.7	29.4	29.5	30	30.5	30.2	29.4	29	29.3
Ginebra	29.7	29.7	29.6	29.6	29.4	29.4	29.9	30.3	29.8	29.1	28.7	29
Amalme	29.4	29.5	29.4	29.1	29	29	29.7	30.1	29.7	28.9	28.5	28.7
San Marcos	30.2	30.3	30.1	29.8	29.6	29.7	30.2	30.7	30.3	29.5	29.2	29.6
Rozo	30.8	30.7	30.5	30.3	30.1	30.4	30.8	31.1	31.2	30	29.7	29.9
Palmira La Rita	29.6	29.8	29.6	29.2	29.1	29.2	29.8	30.3	29.9	29.1	28.7	29
Arroyohondo	29.7	29.9	29.9	29.4	29.3	29.3	30	30.6	30.4	29.2	28.6	29.1
Aeropuerto	30.1	30.4	30.1	29.8	29.5	29.7	30.4	30.8	30.5	29.7	29.2	29.5
Palmira San José	29.8	29.9	29.7	29.8	29.3	29.2	29.9	30.4	30	29.3	28.9	29.2
PTAR	30.3	30.5	30.2	29.7	29.1	29.8	30.8	31.6	31.2	29.9	29.2	29.5
Candelaria	30.2	30.3	30.1	29.8	29.5	29.6	30.2	30.7	30.4	29.7	29.2	29.5
Pradera	29.4	29.5	29.4	29	28.8	28.8	29.4	29.8	29.5	28.9	28.4	28.6
Melendez	30	30.2	29.9	29.6	29.4	29.5	30.2	30.9	30.5	29.5	28.9	29.3
El Tiple	30.9	30.8	30.5	30.2	30	30.2	30.8	31.1	31.3	30	29.7	29.8
Cenicaña	29.4	29.6	29.4	29	28.8	28.9	29.5	30	29.7	28.9	28.4	28.6
Jamundí	29.6	30	29.7	29.3	29.2	29.4	30	30.6	30.1	29.2	28.7	29
Bocas del Palo	30.2	30.4	30.2	29.8	29.8	29.7	30.4	31	30.5	29.5	29.1	29.6
Ortigal	29.8	30.1	29.8	29.5	29.1	29.2	29.9	30.2	30	29.3	29	29.2
Miranda	29.6	29.7	29.6	29.1	28.9	28.9	29.5	30	29.8	29.1	28.6	28.9
Naranjo	29.5	29.9	29.6	29.2	28.9	29.1	29.6	30.2	29.9	29.1	28.5	28.9
Guachinte	30.8	30.7	30.5	30.1	29.8	30.1	30.7	31	30.8	29.6	29.6	29.7
Corinto	28.6	28.8	28.7	28.3	28.1	28.2	28.9	29.4	29	28.2	27.8	28
S. de Quilichao	29.5	29.6	29.6	29.1	28.8	28.8	29.5	30.2	29.9	29.2	28.5	28.6
VRC	30.2	30.3	30.1	29.7	29.5	29.6	30.2	30.7	30.4	29.5	29.1	29.4



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1d. Temperatura mínima media.

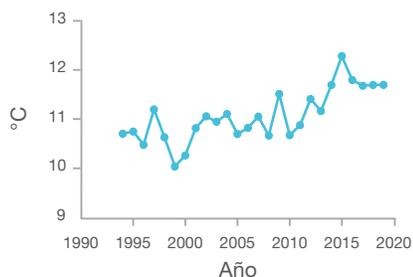
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	18.2	18.6	18.8	19.1	19	18.6	18.3	18.1	18.2	18.4	18.6	18.5
La Virginia	18.9	19.2	19.3	19.5	19.4	19	18.7	18.6	18.6	18.9	19.1	19.1
Cartago	19	19.2	19.5	19.6	19.6	19	18.7	18.5	18.7	18.9	19	18.9
RUT	19.1	19.3	19.7	19.7	19.6	19	18.7	18.6	18.2	18.8	19.2	19.2
Zarzal	18.5	18.7	19.1	19.3	19.3	18.7	18.2	18.1	18.1	18.4	18.6	18.6
La Paila	18.7	19	19.2	19.5	19.5	19	18.6	18.6	18.6	18.8	18.9	18.9
Bugalagrande	18.7	18.9	19.2	19.4	19.4	18.8	18.4	18.4	18.4	18.7	18.9	18.9
Riofrío	18.6	18.8	18.9	19.1	19	18.5	18.2	18.2	18.2	18.3	18.6	18.6
Tuluá	18.5	18.8	18.9	19.1	19.1	18.7	18.4	18.3	18.5	18.5	18.7	18.6
Buga	18.9	19	19.2	19.4	19.3	18.9	18.6	18.5	18.3	18.4	18.9	18.9
Yotoco	19	19.2	19.3	19.6	19.4	19	18.8	18.9	18.7	18.7	19	18.9
Guacarí	19	19.2	19.3	19.3	19.3	19	18.7	18.7	18.7	18.6	18.8	18.9
Ginebra	18.8	19.1	19	19	19.1	18.8	18.6	18.7	18.6	18.6	18.8	18.8
Amaime	18.6	18.9	18.9	19	19	18.7	18.5	18.5	18.5	18.4	18.6	18.7
San Marcos	19.1	19.3	19.4	19.5	19.4	19	18.8	18.8	18.9	18.9	19.1	19.1
Rozo	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.1	18.8	18.9	18.8	18.8	19	19.1
Palmira La Rita	18.4	18.7	18.8	18.9	18.8	18.5	18.2	18.2	18.2	18.3	18.5	18.5
Arroyohondo	18.9	19.2	19.3	19.3	19.2	18.7	18.4	18.4	18.5	18.7	18.9	18.8
Aeropuerto	18.7	18.9	19	19.2	19.1	18.6	18.3	18.3	18.4	18.6	18.7	18.7
Palmira San José	18.3	18.6	18.6	18.7	18.6	18.3	18.1	18	18.1	18.2	18.4	18.3
PTAR	20	20.2	20.1	20	19.6	19.5	19.5	19.6	19.7	19.7	19.8	19.8
Candelaria	18.7	18.9	19.1	19.1	19.1	18.6	18.4	18.4	18.4	18.6	18.7	18.7
Pradera	18.6	18.8	18.9	18.8	18.8	18.5	18.3	18.3	18.2	18.3	18.5	18.6
Melendez	18.8	19	19.2	19.2	19.2	18.7	18.2	18.1	18.3	18.6	18.8	18.9
El Tiple	19.2	19.3	19.5	19.4	19.4	19	18.8	18.8	18.7	18.9	19.2	19.2
Cenicaña	18.9	19.1	19.3	19.3	19.3	19	18.8	18.7	18.7	18.8	18.9	18.9
Jamundí	18.3	18.6	18.7	18.8	18.9	18.3	17.6	17.4	17.7	18.2	18.5	18.5
Bocas del Palo	19	19.2	19.3	19.6	19.3	18.7	18.2	18	18.4	18.8	19	18.9
Ortigal	18.4	18.7	18.9	18.9	18.8	18.4	18.1	17.9	18	18.3	18.5	18.5
Miranda	18.5	18.7	18.9	19	19	18.6	18.3	18.1	18.2	18.4	18.6	18.6
Naranjo	18.9	19.1	19.1	19.1	19.1	18.7	18.3	18.1	18.3	18.7	18.8	18.9
Guachinte	19.7	19.6	19.7	19.4	19.5	18.9	18.4	18.3	18.1	18.7	19.5	19.5
Corinto	18.8	18.9	18.9	18.9	19	18.8	18.6	18.6	18.6	18.5	18.6	18.7
S. de Quilichao	18.6	18.7	18.8	18.8	18.8	18.1	17.7	17.5	17.8	18.3	18.6	18.6
VRC	18.8	19.0	19.2	19.2	19.2	18.8	18.4	18.4	18.4	18.6	18.8	18.8



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1e. Oscilación media diaria de la temperatura.

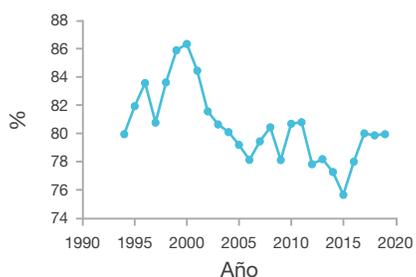
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	12.5	12.2	11.7	10.7	10.6	11.1	12	12.8	12.2	11.4	10.7	11.2
La Virginia	12	11.9	11.5	10.6	10.3	10.9	11.9	12.5	12.3	11.1	10.3	10.8
Cartago	11.6	11.8	11.2	10.4	10.4	11.2	12.3	13	12.2	11.1	10.6	11.1
RUT	12.9	12.6	11.7	11.1	11.2	12.2	13	13.4	13.7	11.6	10.9	11.4
Zarzal	11.9	11.9	11.3	10.8	10.8	11.8	12.6	13.3	12.5	11.4	10.6	11.2
La Paila	11.6	11.6	11	10.2	10.2	10.9	11.9	12.5	11.9	10.7	10.1	10.7
Bugalagrande	11.9	11.8	11.3	10.6	10.6	11.3	12.4	12.7	12.2	11.1	10.5	11
Riofrío	12.1	12.2	11.6	10.9	11	11.6	12.4	12.6	12.7	11.2	10.9	11.2
Tuluá	11.5	11.3	10.8	10.1	9.9	10.5	11.4	11.8	11.5	10.7	10.2	10.7
Buga	12.2	12	11.7	11.2	11	11.9	12.5	12.6	12.7	11.6	11	11.5
Yotoco	11.5	11.3	11	10.2	10.1	10.7	11.5	11.9	11.5	10.8	10.2	10.8
Guacarí	10.9	11	10.7	10.3	10	10.4	11.2	11.7	11.4	10.7	10.1	10.3
Ginebra	10.7	10.5	10.4	10.4	10.2	10.5	11.2	11.6	11.1	10.4	9.8	10.1
Amalme	10.7	10.6	10.4	10	10	10.2	11.1	11.5	11.1	10.4	9.8	10
San Marcos	10.9	11	10.7	10.2	10.1	10.6	11.3	11.8	11.3	10.4	10	10.4
Rozo	11.3	11.3	11	10.7	10.6	11.3	11.9	12.1	12.3	11.2	10.5	10.7
Palmira La Rita	11.1	11	10.7	10.3	10.2	10.6	11.4	12	11.6	10.7	10.1	10.4
Arroyohondo	10.7	10.6	10.6	10.1	10	10.7	11.5	12.1	11.8	10.5	9.7	10.2
Aeropuerto	11.3	11.4	11	10.5	10.4	10.9	11.9	12.4	12	11	10.4	10.8
Palmira San José	11.4	11.2	11.2	10.7	10.6	10.8	11.7	12.2	11.8	11.1	10.4	10.8
PTAR	10.2	10.2	9.9	9.6	9.5	9.8	11.2	11.7	11.1	10.1	9.4	9.6
Candelaria	11.4	11.3	10.9	10.5	10.4	10.8	11.7	12.3	11.9	11	10.4	10.6
Pradera	10.7	10.6	10.4	10.1	9.9	10.2	11	11.5	11.2	10.4	9.8	10
Melendez	11.1	11.1	10.6	10.2	10	10.7	11.9	12.8	12.1	10.8	10	10.3
El Tiple	11.5	11.4	10.9	10.6	10.5	11.1	12	12.2	12.6	11	10.4	10.5
Cenicaña	10.3	10.4	10.1	9.7	9.4	9.7	10.6	11.1	10.8	10.1	9.4	9.6
Jamundí	11.2	11.3	10.9	10.4	10.1	11	12.2	13	12.3	10.9	10	10.4
Bocas del Palo	11.1	11.2	10.8	10.2	10.3	10.9	12.1	12.9	12.1	10.6	10	10.6
Ortigal	11.3	11.3	10.8	10.5	10.2	10.7	11.7	12.2	11.8	10.9	10.4	10.6
Miranda	11	10.9	10.5	10.1	9.8	10.2	11.1	11.7	11.5	10.6	10	10.2
Naranjo	10.6	10.7	10.3	9.9	9.7	10.3	11.2	12	11.5	10.3	9.6	9.9
Guachinte	11	11	10.7	10.6	10.3	11.1	12.2	12.6	12.6	10.7	10	10.1
Corinto	9.7	9.8	9.7	9.4	9	9.3	10.2	10.6	10.4	9.6	9.1	9.2
S. de Quilichao	10.8	10.9	10.7	10.3	9.9	10.6	11.7	12.6	12.1	10.7	9.8	10
VRC	11.3	11.2	10.8	10.4	10.2	10.8	11.7	12.2	11.9	10.8	10.2	10.5



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1f. Humedad relativa media.

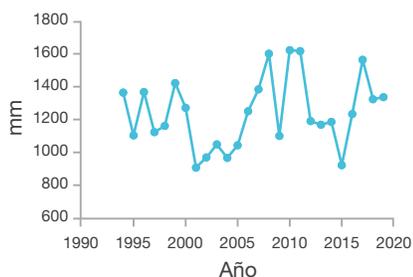
Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	78.6	78.5	79.7	81.9	82.4	80.9	78.3	77	79	81.6	83	81.8
La Virginia	80.4	80.3	82	84	84.5	83.2	80.1	78.6	79.7	83	84.8	83.5
Cartago	77.6	77.7	79.1	82.5	83.3	81.6	78.3	76	78	81	83.5	82
RUT	72.6	72.9	74.8	77.8	78.4	76.8	74.8	73.9	74.1	77.3	78.5	77
Zarzal	76.1	77.5	78.1	81.3	80.7	79.6	78.2	76.6	78.6	81.5	81.8	79.1
La Paila	78.4	77.9	80	82.5	82.8	80.6	78.4	77	78.1	81.4	83	81.4
Bugalagrande	78.8	78.5	81.1	83.9	83.4	81.8	78.8	76.9	79	82	83.4	82.2
Riofrío	77.6	77	79	81.2	81.4	79.2	77.6	75.7	76.2	80.6	81.3	80.5
Tuluá	79.7	79.8	81.9	83.8	83.6	81.7	78.3	77	77.9	82.3	83.4	82.5
Buga	75.4	75.8	77.3	79.5	80.2	77.5	75.1	74	74.9	79.1	80.3	78.9
Yotoco	75.4	74	75.7	78	78.3	76.6	73.6	72.4	74.5	77.7	76.9	77.2
Guacarí	76.7	76.6	78.5	81.1	81.6	79.5	76.3	74.5	76	79.2	80.8	79.7
Ginebra	78	77.8	80.3	82.4	82.4	79.4	76.4	73.9	76.7	80.7	82.2	81.2
Amaime	77.3	77.1	78.8	81.6	81.7	79.9	75.8	74	75.7	79.7	81.6	80.3
San Marcos	79.1	78.7	80.5	82.6	82.9	80.9	78	75.8	76.9	80.5	82.2	81.5
Rozo	75.7	76.1	77.9	80.2	80	77.4	75.6	74.2	74.5	78.4	79.7	79
Palmira La Rita	80.4	80.3	81.6	83.5	83.9	82.4	79.8	77.4	78.8	82.1	83.9	82.7
Arroyohondo	77.6	77.9	79.5	81.9	82.5	80.1	77.3	74.8	76.1	80	81.9	80.6
Aeropuerto	77.7	77.6	79.5	81.3	81.6	79.8	76	73.9	75.9	79.1	81.1	80.7
Palmira San José	77.7	78.7	80.3	82.3	82.5	80.2	76.7	74.5	76.4	79.8	82.2	80.4
PTAR	74.7	73.6	76.4	77.8	78.6	76.4	72	69.2	72	75.8	78.7	77.6
Candelaria	78.1	78	79.9	81.5	81.8	79.8	76.6	74.6	76.1	79.5	81.2	80.8
Pradera	80	79.9	81.6	84	84.2	82.1	78.8	75.9	77.9	81.2	83.3	81.8
Meléndez	80.2	79.8	81.5	83.5	83.6	81.6	77.7	75.2	76.6	81.2	83.7	82.7
El Tiple	76.2	77.4	79.5	81.5	80.1	77.4	74	71.9	73.1	78.2	79.4	80
Cenicaña	79.5	79	80.9	82.8	82.9	80.7	76.6	74.2	76.5	80.4	82.6	82
Jamundí	81.4	80.5	82	83.5	83.8	81.9	78.6	75.4	77.5	81.7	84.1	83.7
Bocas del Palo	77.4	77.6	79.5	80.7	81.3	79.5	76.5	73.6	75.5	79.5	81.4	80
Ortival	80.1	80	82	83.4	84.2	82.4	79.4	77.3	78.8	81.7	82.8	82.9
Miranda	82.6	82.2	83.1	85.2	85.3	83.6	80.9	78.6	80	83.5	85.2	84.5
Naranjo	77.9	78.6	80.8	83.1	83.3	80.9	77.9	74.9	77	81.4	83.6	82.2
Guachinte	75.2	75.8	77.3	79.1	79.5	76.7	73.5	71	72.8	77.5	78.7	78.4
Corinto	78.9	78.5	80.2	82.6	82.2	79.3	75.3	71.7	74.4	79.8	82.5	81.3
S. de Quilichao	83	82.8	84.2	86.4	86.5	84.7	80.3	76.9	79	82.9	85	84.9
VRC	78.1	78.1	79.8	82.0	82.2	80.2	77.1	75.0	76.6	80.3	82.0	81.0



Anexo 1. Continuación.

Anexo 1g. Precipitación.

Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	436	444	453	432	416	420	446	461	458	435	413	406
La Virginia	446	454	461	437	407	396	424	445	460	444	427	417
Cartago	436	448	451	439	431	436	455	463	456	439	419	415
RUT	413	424	421	424	418	416	425	428	443	417	397	402
Zarzal	435	453	447	449	441	446	471	479	447	440	425	422
La Paila	384	405	410	393	383	382	406	426	415	389	376	375
Bugalagrande	403	430	430	392	383	388	413	420	428	409	394	378
Riofrío	417	440	428	403	388	392	422	430	450	414	389	389
Tuluá	454	465	464	438	424	428	445	464	445	444	432	430
Buga	405	413	415	400	376	381	396	398	397	398	401	395
Yotoco	405	404	402	386	360	354	378	387	406	395	384	382
Guacarí	450	454	457	425	403	407	435	454	458	446	431	425
Ginebra	391	376	369	378	367	366	392	408	395	396	377	371
Amaime	369	375	377	364	355	357	372	389	385	373	347	343
San Marcos	447	459	460	448	431	433	462	485	476	447	420	420
Rozo	411	423	420	405	379	381	405	407	425	404	387	383
Palmira La Rita	402	400	402	401	379	374	392	400	410	401	377	379
Arroyohondo	387	407	393	393	375	378	407	433	444	401	363	362
Aeropuerto	431	444	442	429	409	412	440	452	452	438	416	409
Palmira San José	368	385	388	372	349	342	369	380	382	386	360	354
PTAR	396	411	417	415	395	392	438	452	461	419	374	365
Candelaria	418	438	438	421	396	388	407	423	434	429	403	391
Pradera	420	414	407	386	355	342	365	378	396	401	387	383
Meléndez	430	443	442	432	410	412	437	455	451	426	402	397
El Tiple	397	403	428	402	373	371	382	386	415	364	387	386
Cenicaña	398	402	397	394	374	365	381	392	400	394	374	380
Jamundí	401	422	421	408	381	385	402	415	422	409	385	375
Bocas del Palo	414	425	426	408	401	396	413	427	417	403	385	399
Ortugal	427	426	428	420	393	389	408	409	423	419	397	389
Miranda	411	423	421	405	383	366	387	398	414	420	401	388
Naranjo	386	389	384	377	355	351	360	381	395	385	365	372
Guachinte	409	412	406	395	369	366	375	385	403	384	374	372
Corinto	426	428	417	393	371	369	393	410	414	409	390	390
S. de Quilichao	402	403	408	398	380	363	380	398	403	400	382	371
VRC	412	422	421	408	389	387	408	421	426	411	392	389



Anexo 1. Continuación.

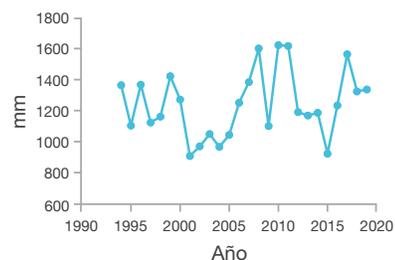
Anexo 1h. Número de días con precipitación.

Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	15	15	19	22	22	21	19	16	20	22	23	19
La Virginia	14	15	19	20	20	18	15	16	17	21	22	19
Cartago	12	13	16	19	18	17	15	15	17	20	21	16
RUT	11	13	16	20	20	16	16	16	15	20	21	13
Zarzal	10	12	16	19	18	15	13	14	13	18	17	13
La Paila	11	11	16	20	19	15	15	13	15	20	18	14
Bugalagrande	10	10	15	19	17	16	13	13	16	19	18	13
Riofrío	11	10	17	20	18	14	13	13	13	20	18	16
Tuluá	12	13	17	20	18	15	13	12	14	19	19	15
Buga	12	13	17	18	17	14	12	14	14	20	21	17
Yotoco	10	11	15	17	16	13	11	11	13	18	16	13
Guacarí	11	11	16	18	17	13	10	10	14	17	17	14
Ginebra	11	11	16	17	16	12	10	11	13	17	18	14
Amaime	12	13	17	18	17	13	10	11	12	19	18	15
San Marcos	10	9	14	17	15	12	9	8	10	16	16	12
Rozo	8	11	12	18	16	10	10	10	10	15	15	11
Palmira La Rita	11	11	16	19	18	13	11	9	13	19	18	14
Arroyohondo	9	10	13	16	14	11	9	8	10	16	15	11
Aeropuerto	11	10	15	17	16	12	8	9	11	17	16	12
Palmira San José	12	13	18	19	18	13	11	12	12	17	19	14
PTAR	12	12	16	17	15	12	9	9	12	16	16	14
Candelaria	10	10	15	17	15	13	9	8	11	17	17	14
Pradera	12	13	16	18	17	14	11	10	12	18	18	14
Meléndez	13	12	17	19	17	13	11	9	13	18	19	14
El Tiple	11	12	16	18	15	12	11	9	11	18	17	14
Genicaña	12	11	15	18	17	12	9	8	12	17	18	13
Jamundí	13	14	17	20	17	14	12	9	13	18	19	17
Bocas del Palo	13	13	18	19	18	14	12	10	11	20	18	16
Ortigal	13	11	17	19	17	15	13	9	13	18	17	14
Miranda	13	13	17	19	19	14	13	10	14	19	20	16
Naranjo	14	13	17	20	18	15	13	9	13	18	19	15
Guachinte	16	15	18	20	20	14	12	11	11	20	16	18
Corinto	16	15	19	20	20	15	13	10	14	20	21	18
S. de Quilichao	13	14	17	19	19	12	10	8	13	19	19	16
VRC	12	12	16	19	17	14	12	11	13	18	18	15

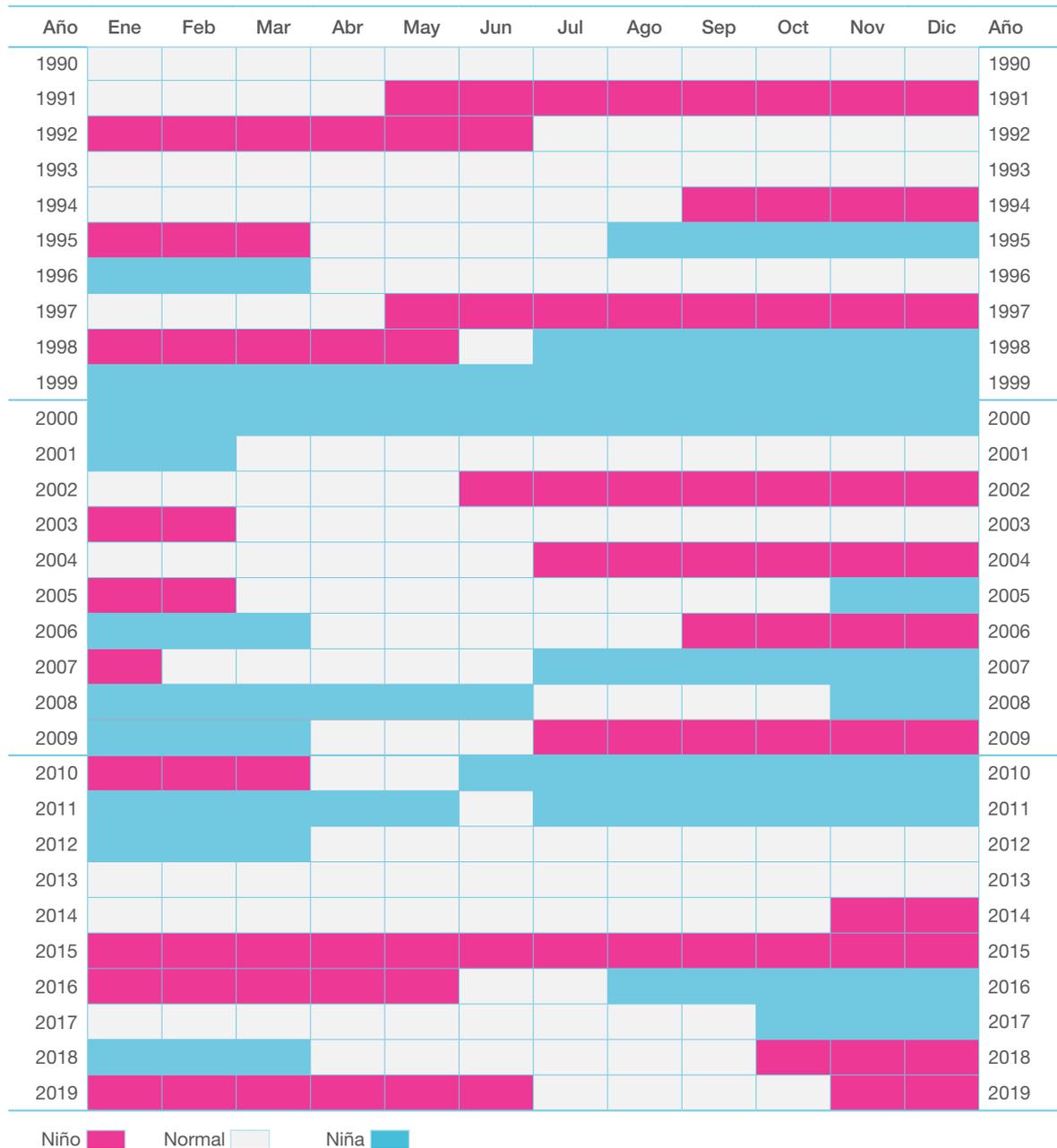
Anexo 1. Continuación.

Anexo 1i. Evaporación.

Estación meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Viterbo	15	15	19	22	22	21	19	16	20	22	23	19
La Virginia	14	15	19	20	20	18	15	16	17	21	22	19
Cartago	12	13	16	19	18	17	15	15	17	20	21	16
RUT	11	13	16	20	20	16	16	16	15	20	21	13
Zarzal	10	12	16	19	18	15	13	14	13	18	17	13
La Paila	11	11	16	20	19	15	15	13	15	20	18	14
Bugalagrande	10	10	15	19	17	16	13	13	16	19	18	13
Riofrío	11	10	17	20	18	14	13	13	13	20	18	16
Tuluá	12	13	17	20	18	15	13	12	14	19	19	15
Buga	12	13	17	18	17	14	12	14	14	20	21	17
Yotoco	10	11	15	17	16	13	11	11	13	18	16	13
Guacarí	11	11	16	18	17	13	10	10	14	17	17	14
Ginebra	11	11	16	17	16	12	10	11	13	17	18	14
Amaime	12	13	17	18	17	13	10	11	12	19	18	15
San Marcos	10	9	14	17	15	12	9	8	10	16	16	12
Rozo	8	11	12	18	16	10	10	10	10	15	15	11
Palmira La Rita	11	11	16	19	18	13	11	9	13	19	18	14
Arroyohondo	9	10	13	16	14	11	9	8	10	16	15	11
Aeropuerto	11	10	15	17	16	12	8	9	11	17	16	12
Palmira San José	12	13	18	19	18	13	11	12	12	17	19	14
PTAR	12	12	16	17	15	12	9	9	12	16	16	14
Candelaria	10	10	15	17	15	13	9	8	11	17	17	14
Pradera	12	13	16	18	17	14	11	10	12	18	18	14
Meléndez	13	12	17	19	17	13	11	9	13	18	19	14
El Tiple	11	12	16	18	15	12	11	9	11	18	17	14
Cenicaña	12	11	15	18	17	12	9	8	12	17	18	13
Jamundí	13	14	17	20	17	14	12	9	13	18	19	17
Bocas del Palo	13	13	18	19	18	14	12	10	11	20	18	16
Ortigal	13	11	17	19	17	15	13	9	13	18	17	14
Miranda	13	13	17	19	19	14	13	10	14	19	20	16
Naranjo	14	13	17	20	18	15	13	9	13	18	19	15
Guachinte	16	15	18	20	20	14	12	11	11	20	16	18
Corinto	16	15	19	20	20	15	13	10	14	20	21	18
S. de Quilichao	13	14	17	19	19	12	10	8	13	19	19	16
VRC	12	12	16	19	17	14	12	11	13	18	18	15



Anexo 2. Tabla con el histórico de fases ENOS. Clasificación tipo NOAA, basada en los valores del Índice Oceánico de El Niño (ONI).



Referencias

- Acevedo, E. (1955). Panorama geoeconómico del departamento del Valle. Economía y Estadística. Revista del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 10 (80), pp. 5-49.
- Armenta, G. (2013). Análisis detallado del efecto Föhn generado por la cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima). Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ciencias – Meteorología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 84 pp.
- Allen, R.G.; L.S. Pereira; D. Raes y M. Smith (1998). Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma, 301 pp.
- Campbell, G.; Norman, J. (1998). An introduction to environmental biophysics. Second edition. Springer, 286 pp.
- Carbonell, J. et al. (2011). Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, Cenicaña, 119 pp.
- Cenicaña (2014). RMA, 21 años de aportes a la agroindustria. Carta Informativa Cenicaña 2, (2), pp. 10-11.
- Chica Ramirez, H.A., Gómez Gil, L.F., Bravo Bastidas, J.J. et al. Site-specific intra-annual rainfall patterns: a tool for agricultural planning in the Colombian sugarcane production zone. Theor Appl Climatol 146, 543–554 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03755-1>
- Cortés, E.; Barrios, C. (2010). Nuevo calendario de temporadas secas y lluviosas en el valle del río Cauca. Carta Trimestral 3 y 4, pp. 4-5.
- Cortés, E.; Peña, A.; Chica, H. (2018). Climatología de la precipitación horaria en cuatro sitios del valle del río Cauca. Memorias XI Congreso Atalac-Tecnicaña.
- Cortés, E.; Chica, H.; Peña, A. (2019). Zonas climáticas del valle del río Cauca. Carta Informativa Cenicaña, 7 (1), pp. 10-11.
- Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), Upme (Unidad de Planeación Minero Energética) (2005). Atlas de radiación solar de Colombia. Imprenta Nacional de Colombia, 175 pp.

- James, G. (2004). Introduction to Sugarcane. In: James, G. Sugarcane. Oxford: Wiley-Blackwell, 2004, pp. 1-19.
- Jaramillo, A. (2005). Clima andino y café en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), 192 pp.
- Kemarian, A. R. & Stöckle, C. O. (2010). C-Farm: A simple model to evaluate the carbon balance of soil profiles. *European Journal of Agronomy*, 32 (1), pp. 22-29.
- Marin, F. R. (2008). Clima. Agencia de informacao Embrapa. Árvore Hipérbolica da Cana-de-acúcar. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html
- Moene, A.; van Dam, J. (2014). Transport in the atmosphere-vegetation-soil continuum. Cambridge University Press, 436 pp.
- Peña, A.; Cortés, E.; Montealegre, F. (2001). Incidencia de los fenómenos El Niño y La Niña sobre las condiciones climáticas en el valle del río Cauca. Parte I. Análisis climatológico. *Meteorología Colombiana* 3, pp. 103-118.
- Peña, A.; Keller, M.; Salazar, M.; Khot, L. & Hoogenboom, G. (2019). Comparison between grapevine tissue temperature and air temperature. *Scientia Horticulturae*, 247, pp. 407-420.
- Peña, A.; y Mendoza, C. (2020). Soil Temperature Patterns During the First Sugarcane Growth Stages Under a Different Crop Management in the Cauca River Valley, Colombia. *Journal of Agricultural Science (Toronto)* 12 (10), pp. 225-239.
- Peña, D. (1982). Algunas características de la precipitación en Palmira (Colombia), Turrialba, 32, n.º 3, pp. 219-
- Peña, D. (2002). Análisis multivariante de datos. McGraw-Hill Interamericana de España, 539 pp.
- Poveda, G.; Mesa, J. (1999). La corriente en chorro superficial del oeste ("del Chocó") y otras dos corrientes de chorro en Colombia: climatología y variabilidad durante las fases del ENSO. *Rev Acad. Colomb. Cienc.* 3 (89), pp. 517-528.

Strakhov, N. M. (1967). Distribution of climatic types of lithogenesis on the Earth's surface during Phanerozoic time. En: N.M Stakhov (ed). Principles of Lithogenesis. Springer-Verlag, pp. 178-239.

Valderrama, C. (2013). Propuesta de ajuste al plan de acción en biodiversidad del Valle del Cauca. Instituto Humboldt – Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Informe Final, 105 pp.

Valverdi, N. A.; Cheng, L. & Kalcsits, L. (2019). Apple Scion and Rootstock Contribute to Nutrient Uptake and Partitioning under Different Belowground Environments. *Agro-nomy*, 9 (8), p. 415.

LOS AUTORES

Andrés Javier Peña Quiñones

Ingeniero Agrónomo, egresado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, obtuvo su maestría en Ciencias, área Meteorología, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y su doctorado en Ingeniería Biológica y Agrícola en la Universidad del Estado de Washington, en Estados Unidos. Con más de 20 años de experiencia en el ejercicio de la Agroclimatología y más de 40 artículos publicados, estuvo vinculado entre 2018 y 2020 al Programa de Agronomía de Cenicaña y en la actualidad es investigador asociado de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el Centro de Investigación La Libertad, en la ciudad de Villavicencio.

Héctor Alberto Chica Ramírez

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Caldas, magíster en Matemáticas de la Universidad Tecnológica de Pereira y candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de análisis y diseño de experimentos, simulación estocástica y modelación determinística y estadística de cultivos en el sector cafetero y azucarero en empresas como Cenicafé y Cenicaña. Conferencista en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como jefe del Servicio de Analítica de Cenicaña desempeñando funciones en la optimización matemática y formulación de proyectos encaminados a la modelación matemática de cadenas de abastecimiento.

Christian José Mendoza Castiblanco

Ingeniero Agrícola de la universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con maestría y doctorado en el área de Riego y Drenaje Agrícola de la Universidad de Sao Paulo, Escuela de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) en Brasil. Vinculado al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña, entre los años de 2017 y 2020, en el área de Manejo de Aguas, donde trabajó en la evaluación del desempeño y eficiencia de los sistemas de riego mecanizado y de micro riego. Actualmente se encuentra vinculado como profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. A la fecha cuenta con un total de 15 publicaciones entre artículos científicos en revistas nacionales e internacionales, memorias en congresos internacionales y documentos de divulgación. Ha coordinado proyectos de investigación nacionales e internacionales.



Análisis de las
variables del clima
en el valle del río Cauca

www.cenicana.org