



Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Desde 1967 *Ciencia para cultivar el cambio*



**ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI**



DAGMA
AUTORIDAD AMBIENTAL
DE SANTIAGO DE CALI



**Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca**

CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) —miembro del Consorcio CGIAR— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia.
www.ciat.cgiar.org

CGIAR es una alianza mundial de investigación para un futuro sin hambre. Su labor científica la llevan a cabo los 15 centros de investigación que integran el Consorcio CGIAR, en colaboración con cientos de organizaciones socias.
www.cgiar.org

CVC

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca es la entidad encargada de administrar los recursos naturales renovables y el medio ambiente del Valle del Cauca, que como máxima autoridad ambiental y en alianza con actores sociales propende por un ambiente sano, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la competitividad de la región en el marco del desarrollo sostenible.
www.cvc.gov.co

DAGMA

El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, es una entidad del Municipio de Santiago de Cali creada desde 1994 para ser la máxima autoridad ambiental y el organismo técnico, director de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales. El propósito del DAGMA es hacer de Santiago de Cali un modelo de ciudad, ambientalmente sostenible, que contribuya a su competitividad en el contexto local y global.
www.cali.gov.co/dagma

Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali





Iglesia La Merced
Fuente: <http://bit.ly/1QAUelp>

Esta es una publicación de la **Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)**, con el apoyo del **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)** y el

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), a través del Convenio CVC-CIAT-DAGMA No. 110 de 2015:

“Aunar esfuerzos y recursos humanos, económicos y técnicos para desarrollar acciones en el marco de la mitigación y adaptación al cambio climático en el municipio de Santiago de Cali”

Rodrigo Guerrero Velasco
Alcalde del Municipio de Santiago de Cali

Rubén Darío Materón Muñoz
Director, CVC

Ruben Echeverría
Director General, CIAT

María del Mar Mozo Muriel
Directora, DAGMA

Comité Técnico del Convenio

Andrés Carmona Tobar
Profesional Especializado, CVC
Supervisor del Convenio

Carlos Arturo Hoyos Gómez
Profesional Especializado, CVC

Gisela Arizabaleta Moreno
Coordinadora del Grupo de Calidad del Aire,
DAGMA

Jeimar Tapasco
Coordinador del Convenio, CIAT

Compilación y edición técnica

Angélica Enciso Arango
Ingeniera Agrícola, CIAT

José Guido Morán Burgos
Geógrafo, CIAT



Panorámica de Santiago de Cali
desde los cerros de Cristo Rey
Fuente: <http://bit.ly/1TICryU>

Agradecimientos

Este documento cuenta con los valiosos aportes técnicos de las siguientes personas, a las cuales agradecemos su participación, aportes en talleres y reuniones, así como el tiempo, interés y motivación dedicados a la construcción de este instrumento.

María de las Mercedes Romero

Gerente Empresa Municipal de Renovación Urbana (EIC-EMRU)

Alejandra Peña Nieto

Geógrafa

Sindy Nova Pérez

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA)

Asimismo, un agradecimiento especial a todas las personas que participaron en el desarrollo de este estudio para la microzonificación climática para el municipio de Santiago de Cali.

Contenido

Introducción	2
Metodología.....	4
Análisis exploratorio y confirmatorio de datos (AED y ACD).....	4
Caracterización climática general	4
Modelación de dos escenarios de variabilidad climática de precipitación y temperatura	5
Análisis de la red hidroclimatológica del municipio de Santiago de Cali	5
Análisis espacio-temporal de índices extremos de precipitación y temperatura.....	5
Detección y caracterización de microzonas climáticas.....	6
Resultados	8
Análisis exploratorio y confirmatorio de datos (AED y ACD).....	8
Caracterización climática general	11
Modelación de dos escenarios de variabilidad climática de precipitación y temperatura	13
Análisis de la red hidroclimatológica del municipio de Santiago de Cali	14
Análisis espacio-temporal de índices extremos de precipitación y temperatura.....	19
Detección y caracterización de microzonas climáticas.....	22
Conclusiones.....	27
Anexos	28
Bibliografía	32

Cuadros

Cuadro 1.	Índices extremos climáticos seleccionados	6
Cuadro 2.	Clasificación de Caldas	6
Cuadro 3.	Clasificación de Lang.....	7
Cuadro 4.	Clasificación Caldas-Lang.....	7
Cuadro 5.	Estadísticos descriptivos de las series de precipitación mensual (mm)	8
Cuadro 6.	Prueba U-Mann Whitney para precipitación	9
Cuadro 7.	Estadísticos descriptivos de las series de temperatura media mensual (°C).....	10
Cuadro 8.	Prueba U-Mann Whitney para temperatura	10
Cuadro 9.	Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas	15
Cuadro 10.	Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas propuestas.....	18
Cuadro 11.	Estaciones de precipitación con mayor correlación de Pearson	18
Cuadro 12.	Clasificación según Caldas de los pisos térmicos para el municipio de Santiago de Cali	22
Cuadro 13.	Clasificación según Lang de los rangos climáticos para el municipio de Santiago de Cali	23
Cuadro 14.	Clasificación climática Caldas-Lang para el municipio de Santiago de Cali	25

Figuras

Figura 1.	Ubicación general del municipio de Santiago de Cali.....	2
Figura 2.	Ubicación de las estaciones de precipitación y temperatura analizadas.....	4
Figura 3.	Isoyetas e isotermas medias anuales multianuales.....	11
Figura 4.	Precipitación media mensual.....	12
Figura 5.	Temperatura mensual	12
Figura 6.	Isoyetas eventos extremos ENOS (mm)	13
Figura 7.	Isotermas eventos extremos ENOS (°C)	14
Figura 8.	Zonificación altitudinal de las estaciones de precipitación y temperatura	15
Figura 9.	Radio de influencia de las estaciones de precipitación y temperatura	16
Figura 10.	Radio de emplazamiento óptimo para estaciones de precipitación y temperatura proyectadas.....	17
Figura 11.	Tendencia de los índices extremos de precipitación por estación	19
Figura 12.	Interpolación de las tendencias de los índices extremos de precipitación en el municipio.....	20
Figura 13.	Tendencia de los índices extremos de temperatura por estación	21
Figura 14.	Pisos térmicos del municipio de Santiago de Cali.....	22
Figura 15.	Rangos climáticos del municipio de Santiago de Cali.....	23
Figura 16.	Microzonificación climática del municipio de Santiago de Cali.....	24



Iglesia La Ermita

Fuente: <http://bit.ly/1RDtWxX>

Introducción

El municipio de Santiago de Cali se encuentra ubicado en el departamento del Valle del Cauca al suroccidente colombiano sobre la margen oriental de la Cordillera Occidental. Tiene un área aproximada de 561.6 km² que comprende altitudes que van desde los 916 msnm en el valle geográfico del río Cauca hasta los 4.035 msnm, aproximadamente, en el Parque Nacional Natural (PNN) Farallones de Cali. El municipio está compuesto además de su zona urbana que comprende 119.7 km², es decir, el 21.3% del total del municipio, por 15 corregimientos (Figura 1). Limita al norte con los municipios de La Cumbre y Yumbo, al oriente con Palmira, Candelaria y

Puerto Tejada, al sur con Jamundí y al occidente con Buenaventura y Dagua.

En términos generales, y con base en la zonificación climática de la región Andina realizada por Narváez y León (2001), el municipio de Santiago de Cali se ubica dentro de la clasificación “Valles cálidos Semihúmedos y vertientes húmedas de alta montaña”, siendo la primera caracterizada por la presencia de brisas o lluvias leves en el valle y montaña, las cuales son el resultado de la diferencia de temperatura entre el aire que encuentra en las pendientes y el aire del valle; estos vientos son

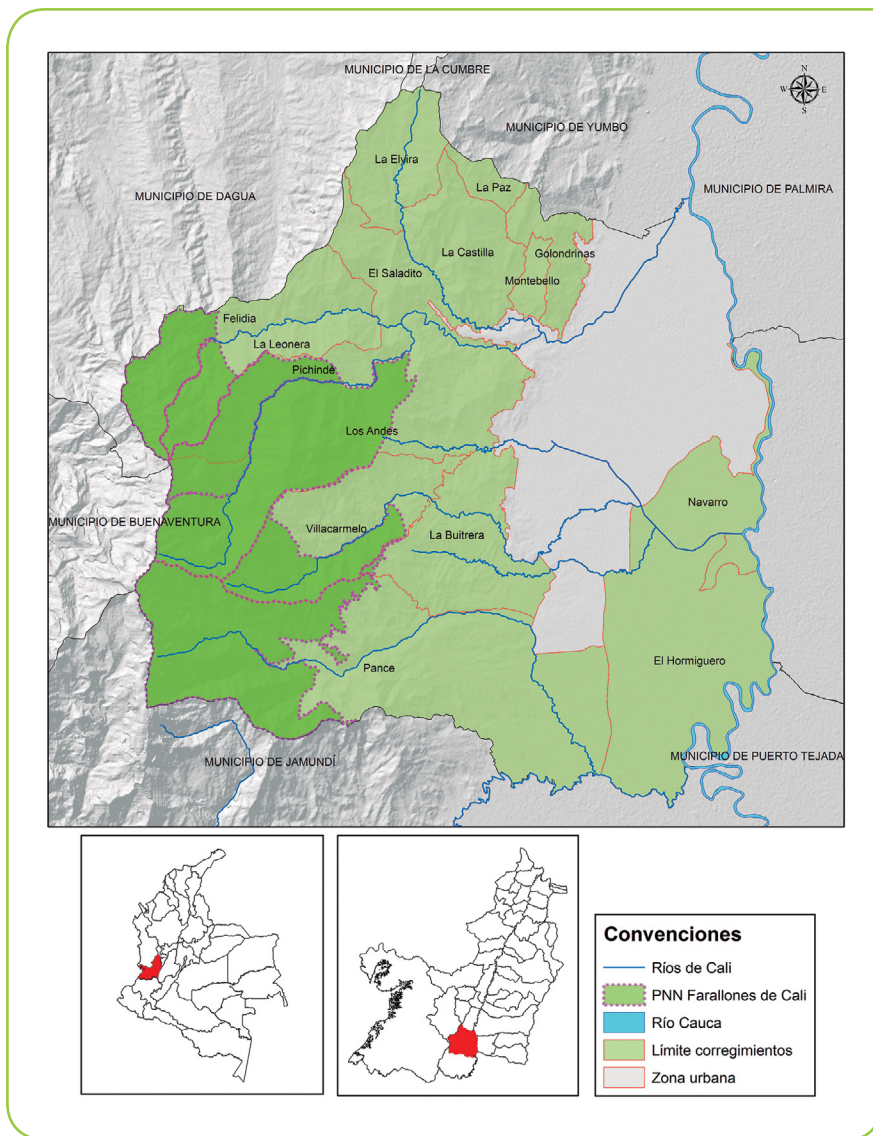


Figura 1. Ubicación general del municipio de Santiago de Cali.

corrientes superficiales que se trasladan hacia las montañas en el día y bajan hacia el valle en la noche. El Valle del Cauca, por ser un valle estrecho y alto, es más seco comparado con el del río Magdalena, con precipitaciones en el fondo del valle de 1.000 mm/año, y en las laderas se forman estrechas bandas con precipitaciones hasta de 2.000 mm/año (Mesa et al., 1997).

Por otro lado, para el clima de vertientes húmedas de alta montaña, en la Cordillera Occidental hay una estrecha franja de precipitaciones superiores a las existentes en el valle, lo cual está relacionado con la influencia de las nubes de tipo orográfico que se desarrollan en la vertiente pacífica de la cordillera (Narváez y León, 2001). Sin embargo, al igual que toda la región andina, estas zonas están altamente condicionadas por la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), presentándose dos periodos húmedos y secos a lo largo del año, ocasionando variaciones, principalmente en el régimen pluvial de la región.

Sin embargo, las clasificaciones realizadas a nivel nacional presentan condiciones muy generales del comportamiento de las variables climáticas para la región. Es por esto que se considera necesario realizar un análisis más detallado para identificar microzonas climáticas basadas principalmente en la relación que existe entre la topografía y el comportamiento de las variables como la temperatura y la precipitación en el municipio, que por sus condiciones orográficas presenta una alta variabilidad climática. Identificar estas zonas con comportamientos climáticos similares es un insumo importante para la generación de espacios geográficos diferenciados para el ordenamiento territorial.

Para la clasificación climática del país se han utilizado diferentes clasificaciones como Köppen, Thornhwaite, Caldas, Lang, Martone y Holdridge, entre otras. En general, todas estas clasificaciones están basadas en el comportamiento medio de parámetros como la precipitación y la temperatura principalmente (Valencia, 2008). La clasificación establecida por Caldas está basada en los valores de temperatura, pero con respecto a su variación altitudinal. Por otro lado, Lang estableció los límites de su clasificación teniendo en cuenta una relación entre la temperatura y la precipitación, donde la precipitación es inversamente proporcional a la temperatura. Estos sistemas por sí solos no representan una aplicación aceptable. Es por esto que Schaufelberger en 1962 (citado por Castañeda, 2014) unificó estos dos sistemas formando la clasificación de Caldas-Lang, donde se utiliza la variación altitudinal de la temperatura, indicando los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad (Castañeda, 2014).

Este informe contiene un análisis exploratorio y confirmatorio de los datos de precipitación y temperatura utilizados; a partir de esto se realizó una caracterización climática general del municipio de Santiago de Cali, una modelación espacial de dos escenarios de variabilidad climática correspondiente a las dos fases del fenómeno ENOS, La Niña y El Niño, un análisis espacial general de la red hidroclimatológica del municipio, un análisis de tendencia de eventos extremos de precipitación y temperatura mediante el uso de la herramienta RClimDex y, finalmente, la detección y caracterización de las microzonas climáticas del municipio, lo cual se realizó utilizando procedimientos basados en sistemas de información geográfica (SIG).

Metodología

Análisis exploratorio y confirmatorio de datos (AED y ACD)

El AED y ECD se realizó para los valores de precipitación y temperatura suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y alguna información tomada de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). Se realizó una depuración de la información suministrada, teniendo en cuenta el área de influencia de las estaciones sobre el municipio de Santiago de Cali, y la disponibilidad y calidad de la información. Se seleccionaron 24 estaciones de precipitación y 7 de temperatura (Figura 2), con un período común de registro de 30 años (1984–2014) para precipitación y 15 años (1998–2013) para temperatura. A través de pruebas estadísticas se exploraron los datos para identificar cambios o tendencias en las series y valores atípicos (*outliers*), y se completaron datos faltantes a las series mensuales utilizando el método de proporciones normales. El análisis numérico se realizó por medio de las medidas de tendencia central como

la media y la mediana; medidas de dispersión como la desviación estándar y el coeficiente de variación, y medidas de distribución como la *curtosis*. A través de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk (para precipitación) y Kolmogorov Smirnov (para temperatura) con un nivel de significancia del 5%, se comprobó si los datos correspondían a una muestra con distribución normal; y, finalmente, a través de la prueba no paramétrica U-Mann Whitney, seleccionada por no tener restricciones en cuanto a la distribución de los datos, se realizó un análisis confirmatorio con el fin de determinar si las series no presentan tendencia y son homogéneas. En este proceso se utilizó la metodología sugerida por Castro y Carvajal (2010).

Caracterización climática general

Se realizó una caracterización general del comportamiento de la precipitación y la temperatura media, máxima y mínima mensual y anual en el municipio, con el fin de identificar el comportamiento de las variables y su distribución espacial y temporal.

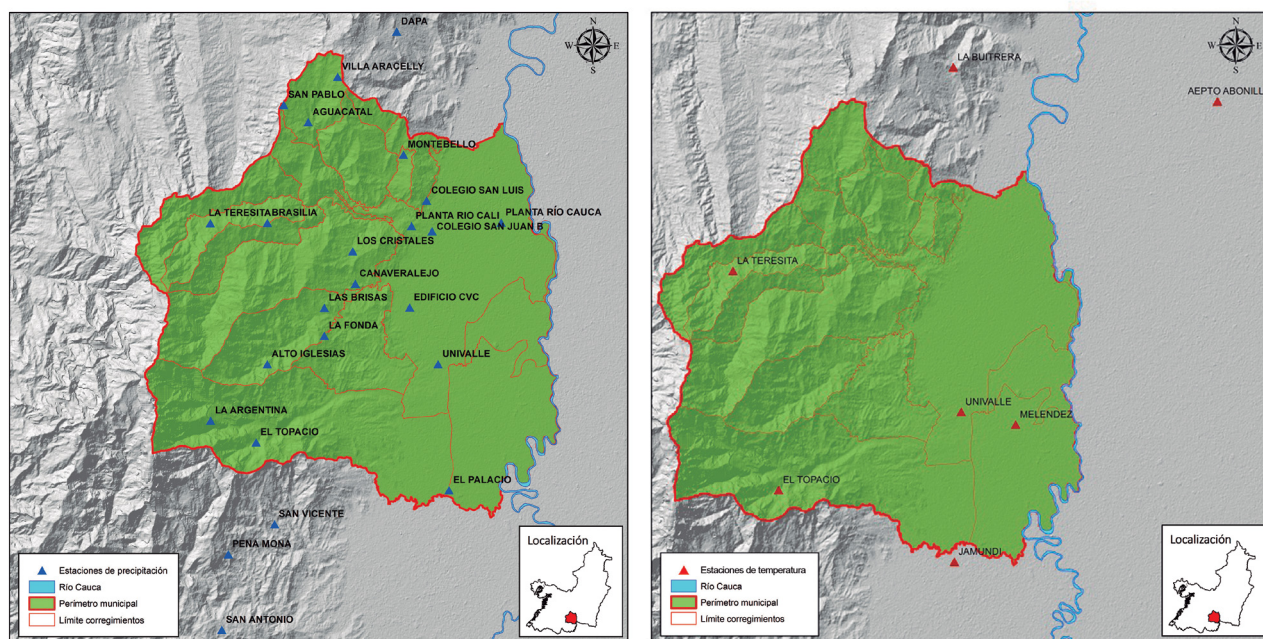


Figura 2. Ubicación de las estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha) analizadas.

Modelación de dos escenarios de variabilidad climática de precipitación y temperatura

Se seleccionaron dos escenarios correspondientes a eventos o períodos de tiempo donde se han presentado condiciones La Niña y El Niño, asociados al fenómeno de variabilidad climática El Niño Oscilación del Sur (ENOS). La selección de los períodos o escenarios a analizar se realizó tomando como referencia la clasificación publicada por el IDEAM en el “Estudio Nacional del Agua 2010”, que realiza un consenso ajustado para Colombia, de acuerdo con los índices océano-atmosféricos ONI, MEI y SOI (Anexo 1). Se seleccionaron los últimos eventos El Niño y La Niña clasificados como fuertes, que han tenido influencia en el país. Para esto se clasificaron las series, tanto de precipitación como de temperatura por año hidrológico, comprendido entre el comienzo de junio de determinado año (Año 0) hasta el fin de mayo del siguiente (Año 1); el año hidrológico se establece para intentar reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones y variables climáticas sobre una determinada zona hidrográfica (Poveda et al., 2001). Una vez seleccionados los períodos a analizar, se realizó un análisis o modelación espacial de las variables precipitación y temperatura, utilizando la técnica de interpolación lineal con ponderación de la distancia inversa (IDW, por sus siglas en inglés), por ser la técnica de mejor ajuste para la distribución de los datos utilizados. En este proceso se utilizó el software ArcGIS 10.1

Análisis de la red hidroclimatológica del municipio de Santiago de Cali

Se realizó un análisis de la distribución espacial y la representatividad de las estaciones hidroclimatológicas pertenecientes a la CVC y el IDEAM ubicadas en el municipio de Santiago de Cali, utilizando el método de correlación y radio de cubrimiento. Inicialmente se realizó un análisis espacial de la cobertura de las estaciones por medio de una zonificación altitudinal, clasificando el área municipal en tres rangos altitudinales de acuerdo con Carvajal y otros (2010), quienes definen como zona alta las ubicadas a más de 2.500 msnm; zona media entre 1.200 y 2.500 msnm; y zona baja la que se encuentra por debajo de los 1.200 msnm. Luego se analizaron las áreas de influencia de las estaciones a partir de los

radios de cubrimiento, los cuales se calculan con base en la Ecuación 1 (González, 1995). Finalmente se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, que relaciona los grupos de estaciones con características similares con el fin de determinar posibles estaciones de remplazo.

Ecuación 1

$$R = 0.64 (S/N)^{0.5}$$

Donde,

R: Radio de cubrimiento

S: Área de la zona a evaluar en km²

N: Número de estaciones en la zona

Para el caso del análisis de la red de monitoreo de la precipitación, la variable S corresponde al total del municipio, mientras que para la temperatura, S corresponde al área de la zona altitudinal donde se ubican las estaciones. A partir de la Ecuación 1 se calcularon los radios R1 igual al valor de R, que determina la zona de cobertura de cada estación y un R2 igual a 1.75R, que corresponde al lugar o emplazamiento óptimo de futuras estaciones. A partir de los análisis realizados se generaron algunas recomendaciones para el mejoramiento de la red hidroclimatológica del municipio, principalmente en cuanto a la medición de las variables precipitación y temperatura.

Análisis espacio-temporal de índices extremos de precipitación y temperatura

A partir de la información de las series históricas de precipitación y temperatura diaria se calcularon las tendencias de los índices extremos de dichas variables para las estaciones con influencia en el área estudiada. Este análisis se realizó utilizando la herramienta estadística RClimDex, cuyo objetivo principal es calcular índices extremos para el monitoreo y detección de cambios en el clima, generando indicadores a escala temporal diaria con aproximaciones locales. Este software fue desarrollado por el departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá. El RClimDex contiene un conjunto de 27 índices climáticos (Anexo 2), de los cuales se utilizaron los que representan eventos extremos o máximos de precipitación y temperatura descritos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Índices extremos climáticos seleccionados.

Índice	Detalle	Unidad	Variable
Rx1day	Lluvia máxima en 1 día	mm	Precipitación
Rx5day	Lluvia máxima en 5 días consecutivos		
R95p	Cantidad total de precipitación mayor al percentil 95		
TNN	Temperatura nocturna mínima	°C	Temperatura
TNX	Temperatura nocturna máxima		
TXN	Temperatura diurna mínima		
TXX	Temperatura diurna máxima		

A partir de la obtención de las tendencias de los índices seleccionados se realizó una distribución espacial de las mismas, con el fin de identificar las zonas con tendencias al incremento o disminución de dichos eventos extremos.

Detección y caracterización de microzonas climáticas

Para la identificación de microzonas climáticas en el municipio de Santiago de Cali, se utilizó la metodología sugerida por la clasificación Caldas-Lang, siendo esta la más utilizada en el contexto nacional, además por la información de la que se tenía disposición, utilizando principalmente las variables altitud, temperatura y precipitación. Los análisis y mapas resultantes se realizaron utilizando Sistemas de Información Geográfica

(SIG); en este caso, ArcGIS 10.1. Para esta clasificación se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

Clasificación climática de Caldas

La clasificación de Caldas fue ideada por Francisco José de Caldas en 1802. Considera únicamente el factor térmico y se fundamenta en la variación de la temperatura con la altura. Los rangos resultantes dan lugar a los denominados “pisos térmicos”, concepto que es válido principalmente en los países localizados en la franja tropical (IDEAM, 2005). Inicialmente, y teniendo en cuenta este modelo metodológico descrito en el Cuadro 2, se obtuvo la clasificación climática por pisos térmicos con base en los rangos altitudinales del municipio, obtenidos a partir del Mapa Digital de Elevaciones (DEM).

Cuadro 2. Clasificación de Caldas.

Piso térmico	Símbolo	Rango de alturas (m)	Temperatura (°C)	Variación de la altitud por condiciones locales
Cálido	C	0 a 1.000	$T \geq 24$	Límite superior ± 400
Templado	T	1.001 a 2.000	$24 \geq T \geq 17.5$	Límite superior ± 500
				Límite inferior ± 500
Frío	F	2.001 a 3.000	$17.5 \geq T \geq 12$	Límite superior ± 400
				Límite inferior ± 400
Páramo Bajo	Pb	3.001 a 3.700	$12 > T \geq 7$	
Páramo Alto	Pa	3.701 a 4.200	$T < 7$	

Clasificación climática de Lang

La clasificación de Richard Lang, establecida en 1915, utiliza la precipitación anual en mm y la temperatura media anual en °C. Los dos parámetros se relacionan mediante el cociente entre la precipitación (P) y la temperatura (T), llamado factor de Lang, a partir del cual se obtienen seis clases de climas (Cuadro 3). Para obtener la temperatura en el municipio representada en isotermas se utilizó el cálculo del gradiente térmico, con el cual se obtienen valores aproximados que varían de acuerdo con la altitud, y para el caso de la zona de estudio se obtienen con la Ecuación 2 (CVC y FUNAGUA, 2010). Esto se realiza ya que en Colombia, por su ubicación en la zona tropical, la temperatura se distribuye principalmente en dependencia de la altitud, y además debido a la falta de información de estaciones climáticas en la zona.

Ecuación 2

$$T (^{\circ}\text{C}) = 30.03 - 0.0062 * h$$

Donde,

T: Temperatura en grados Celsius

h: Altura sobre el nivel del mar

La precipitación media anual representada en isoyetas se obtuvo utilizando el método de interpolación lineal con ponderación de la distancia inversa (IDW), ya que este representa el mejor ajuste al comportamiento de la precipitación de la zona registrado en las estaciones hidrometeorológicas analizadas (Figura 2, izquierda).

Cuadro 3. Clasificación de Lang.

Factor de Lang (P/T)	Clase de clima	Símbolo
0 a 20	Desértico	D
20.1 a 40	Árido	A
40.1 a 60.1	Semiárido	sa
60.1 a 100	Semihúmedo	sh
100.1 a 160	Húmedo	H
Mayor que 160	Superhúmedo	SH

Clasificación climática Caldas-Lang

Schaufelberguer en 1962 (citado por Castañeda, 2014) unió la clasificación de Lang con la clasificación de Caldas, con lo cual obtuvo 25 tipos de climas que tienen en cuenta la elevación del lugar, la temperatura media anual y la precipitación total media anual. De esta unión se obtuvieron los tipos de clima descritos en el Cuadro 4. Finalmente, con base en esta clasificación y a partir de la intersección de las variables altitud (DEM), temperatura (Isotermas) y precipitación (Isoyetas), se obtuvo el mapa de microzonificación climática para el municipio de Santiago de Cali y la caracterización general de cada zona climática.

Cuadro 4. Clasificación Caldas-Lang.

Tipo climático	Símbolo
Cálido Superhúmedo	CSH
Cálido Húmedo	CH
Cálido Semihúmedo	CsH
Cálido Semiárido	Csa
Cálido Árido	CA
Cálido Desértico	CD
Templado Superhúmedo	TSH
Templado Húmedo	TH
Templado Semihúmedo	Tsh
Templado Semiárido	Tsa
Templado Árido	TA
Templado Desértico	TD
Frío Superhúmedo	FSH
Frío Húmedo	FH
Frío Semihúmedo	Fsh
Frío Semiárido	Fsa
Frío Árido	FA
Frío Desértico	FD
Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH
Páramo Bajo Húmedo	PBH
Páramo Bajo Semihúmedo	PBsh
Páramo Bajo Semiárido	Pbsa
Páramo Alto Superhúmedo	PASH
Páramo Alto Húmedo	PAH

Resultados

Análisis exploratorio y confirmatorio de datos (AED y ACD)

El análisis exploratorio (Cuadro 5) refleja valores de medianas para cada estación muy cercanos a su media, indicando que no se presentan en general valores extremos que causan alteraciones en el comportamiento de las series. En general, los datos presentan alta variabilidad con respecto a su valor medio, presentando coeficientes de variación entre 52.8% y 70.4%, siendo la estación Planta Río Cauca la de mayor valor. En general, la variación de las series de datos responde al

comportamiento bimodal y a la alta variabilidad climática de la región presentando series de comportamiento heterogéneo.

El coeficiente de curtosis muestra que las estaciones El Palacio, La Argentina, El Topacio, Las Brisas, Cañaveralejo, Univalle, Planta Río Cali, La Teresita, Alto Iglesias, Colegio San Juan Bosco, San Vicente y Villa Aracelly (Figura 2, izquierda), presentan una concentración normal de valores en la región central de la distribución, teniendo en cuenta que es bastante difícil encontrar un coeficiente de curtosis de cero (0), por lo

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de las series de precipitación mensual (mm).

Estación	Media	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis
Peña Mona	333	314	193	57.9	1.52
El Palacio	134	129	85	62.9	-0.28
La Argentina	253	239	138	54.6	-0.23
El Topacio	238	221	133	55.7	-0.02
Las Brisas	161	152	99	61.5	0.27
Cañaveralejo	129	123	78	60.6	-0.12
Los Cristales	152	140	93	60.9	1.23
La Fonda	164	159	100	61.1	0.89
Univalle	121	113	76	62.6	0.37
Planta Río Cali	116	108	74	64.2	-0.10
Brasilia	121	110	68	56.1	0.48
San Pablo	132	119	88	66.5	2.44
La Teresita	142	133	75	52.8	0.24
Dapa	111	98	72	64.5	1.10
San Antonio	248	237	136	54.9	0.97
Aguacatal	97	87	59	60.9	1.50
Alto Iglesias	202	191	113	56.2	-0.39
Colegio San Juan Bosco	101	91	65	64.1	-0.26
Colegio San Luis	97	93	63	64.9	0.55
Edificio CVC	119	112	76	64.2	0.54
Montebello	103	95	65	63.0	0.53
Planta Río Cauca	95	88	67	70.4	1.71
San Vicente	224	208	136	60.9	-0.13
Villa Aracelly	116	107	67	58.0	0.44

que se suelen aceptar los valores cercanos (± 0.5 aprox.); para el resto de las estaciones con valores mayores a 0.5, las series presentan un alto grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk en general presentó una significancia estadística inferior a 0.05, rechazando la hipótesis de que las series provienen de una distribución normalmente distribuida. Con base

en lo anterior, aplicando la prueba no paramétrica de U-Mann Whitney en el análisis confirmatorio de los datos, se tiene que gran parte de las series analizadas presentan dependencia entre sí con valores de significancia superior al 5% (Cuadro 6), lo cual demuestra la correlación entre estaciones, por similitud en los datos de precipitación mensual, permitiendo completar datos faltantes o redistribuir datos que no fueron tomados en el tiempo requerido.

Cuadro 6. Prueba U-Mann Whitney para precipitación.

Estación		Significancia
Planta Río Cali	Edificio CVC	0.953
Univalle	Brasilia	0.904
Cañaveralejo	San Pablo	0.875
Colegio San Juan Bosco	Montebello	0.775
La Argentina	San Antonio	0.773
Edificio CVC	Villa Aracelly	0.755
Aguacatal	Colegio San Juan Bosco	0.741
Las Brisas	La Fonda	0.734
El Palacio	Cañaveralejo	0.587
Brasilia	Edificio CVC	0.473
Colegio San Luis	Planta Río Cauca	0.414
Los Cristales	La Teresita	0.355
El Topacio	San Antonio	0.337
Dapa	Villa Aracelly	0.256

Para las series de temperatura, el análisis exploratorio muestra que, en general, al igual que la precipitación, los valores de las medianas están muy cerca a la media, lo cual indica que no hay presencia de valores extremos que reflejen una alteración considerable en el comportamiento de las series de los datos, tanto para la temperatura media (Cuadro 7), como para la máxima y mínima (Anexos 3 y 4). Lo anterior se refleja en los valores de desviación estándar que representan baja dispersión o variabilidad en relación con la media,

indicando una distribución homogénea, lo cual se corrobora con los valores arrojados por el coeficiente de variación, inferiores al 10%. En relación con el coeficiente de curtosis, la mayoría de las series presentan una concentración normal de valores en la región central de la distribución, a excepción de las estaciones El Topacio, Univalle y La Buitrera, donde las series presentan un alto grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable.

Cuadro 7. Estadísticos descriptivos de las series de temperatura media mensual (°C).

Estación	Mediana	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis	Kolmogorov-Smirnov	
						Sta.	Sig.
El Topacio	19.63	19.76	1.27	6.41	1.63	.150	.000
La Teresita	16.95	16.82	0.92	5.49	0.40	.080	.004
Univalle	24.58	24.68	1.01	4.10	6.16	.114	.000
Aeropuerto Bonilla Aragón	20.80	20.81	0.79	3.80	-0.20	.063	.058
La Buitrera	24.38	24.52	0.86	3.50	9.29	.131	.000
Jamundí	22.88	22.86	0.76	3.33	-0.04	.040	0.2
Meléndez	23.07	23.17	0.59	2.53	0.14	.105	.000

Respecto a la prueba de normalidad, en general los datos no provienen de distribuciones normalmente distribuidas con valores de significancia inferiores a 0.05, a excepción de las estaciones Aeropuerto Bonilla Aragón y Jamundí, que presentan valores superiores que indican una distribución normal. En ambos casos (distribución normal y no normal) se aplica la prueba U-Mann Whitney, ya que no tiene restricciones en

cuanto a la distribución de los datos (Castro y Carvajal, 2010); en general se tiene que la mayoría de las series analizadas son independientes entre sí con valores de significancia inferior al 5%, a excepción de algunas series que presentan niveles de significancia mayor (Cuadro 8), lo cual demuestra la correlación entre estaciones, por similitud en los datos; en este caso, principalmente en la temperatura máxima mensual.

Cuadro 8. Prueba U-Mann Whitney para temperatura.

Temperatura	Estaciones		Significancia
Media	Univalle	La Buitrera	0.116
Máxima	Univalle	Meléndez	0.528
	Univalle	Jamundí	0.125
	Aeropuerto Bonilla Aragón	Meléndez	0.143
	Aeropuerto Bonilla Aragón	Meléndez	0.298

Caracterización climática general

La precipitación en el municipio de Santiago de Cali varía aproximadamente desde los 1.200 mm/año en la zona plana, que corresponde al área urbana en el sector nororiente, hasta los 3.000 mm/año en el PNN Farallones de Cali (Figura 3, izquierda). La temperatura media anual varía entre los 24 °C en la zona urbana, hasta los 15 °C en la zona de mayor altitud (Figura 3, derecha).

En general, la precipitación en el municipio presenta gran variabilidad; esto, influenciado por las corrientes provenientes del Pacífico y la orografía del municipio, mientras que la temperatura se ve influenciada por el gradiente altitudinal, con niveles que varían desde los 900 hasta los 4.000 msnm.

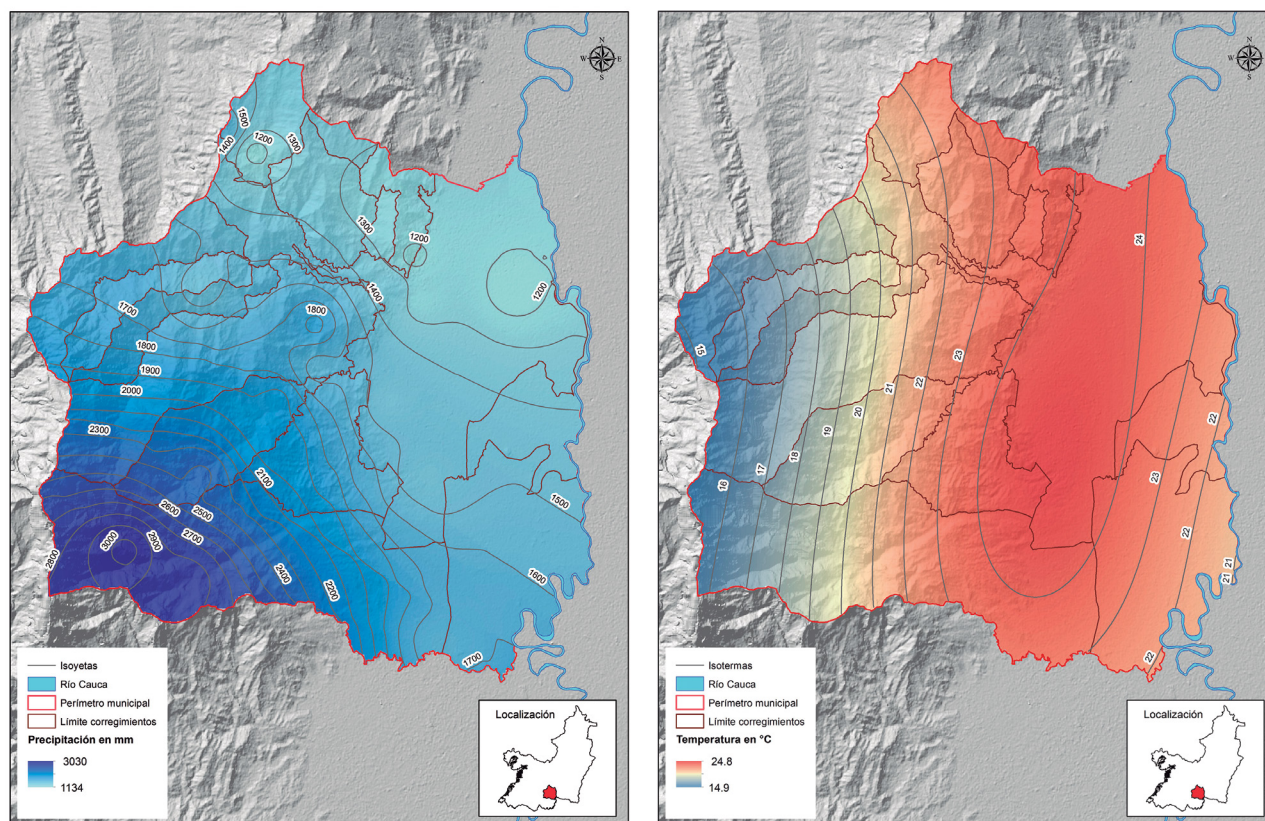


Figura 3. Isoyetas e isotermas medias anuales multianuales.

La precipitación media mensual en el municipio (Figura 4) presenta un régimen bimodal, con dos períodos lluviosos entre marzo–mayo y octubre–noviembre; y dos períodos de menos precipitaciones entre diciembre–febrero y junio–septiembre. Las precipitaciones máximas promedio se registran en el mes de abril (232 mm) y las mínimas en agosto (69 mm).

Las temperaturas varían entre mínimas promedio de 16.5, medias de 21.8 y máximas de 27.3 °C (Figura 5). Las temperaturas máximas se registran en el mes de agosto, con 28 °C, aproximadamente; para las temperaturas mínimas y medias no se observa mayor diferencia a lo largo del año.

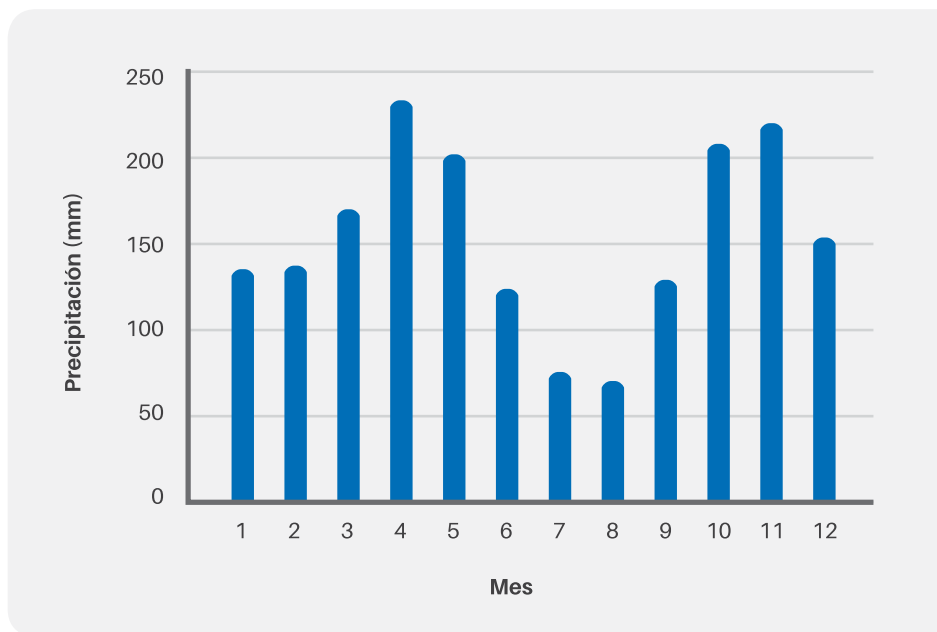


Figura 4. Precipitación media mensual.

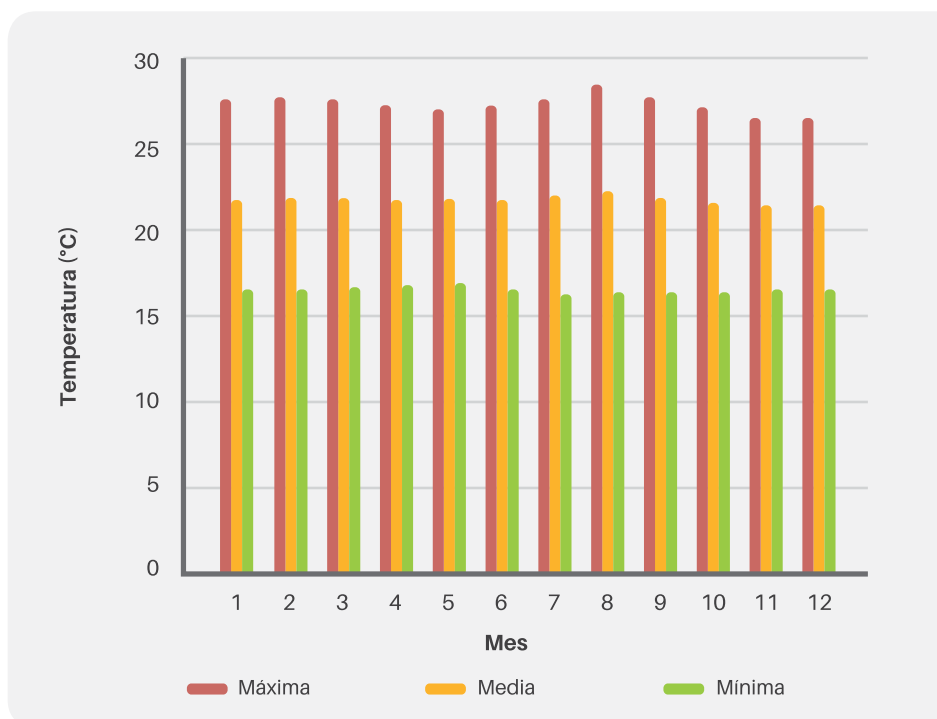


Figura 5. Temperatura mensual.

Modelación de dos escenarios de variabilidad climática de precipitación y temperatura

A partir de la clasificación realizada por Bedoya et al. (2010), y con base en la información disponibles de las variables analizadas, se seleccionaron los últimos eventos ENOS clasificados como fuertes, que corresponden al período El Niño en el año hidrológico 1997–1998 y al período La Niña en 2010–2011. En relación con el comportamiento de las precipitaciones para ambos escenarios, se tiene que estas durante el evento El Niño varían desde los 1.200 mm en la zona plana a los 2.800 mm hacia los Farallones de

Cali (Figura 6, izquierda); y durante el evento La Niña pueden alcanzar valores de 1.800 mm en la zona plana hasta 4.200 mm en la zona de mayor precipitación (Figura 6, derecha). En general, el comportamiento de las precipitaciones durante ambos eventos es igual, incrementándose a medida que es mayor el rango altitudinal. Esto demuestra la gran influencia de la topografía y la orografía del municipio en las condiciones climáticas que se presentan.

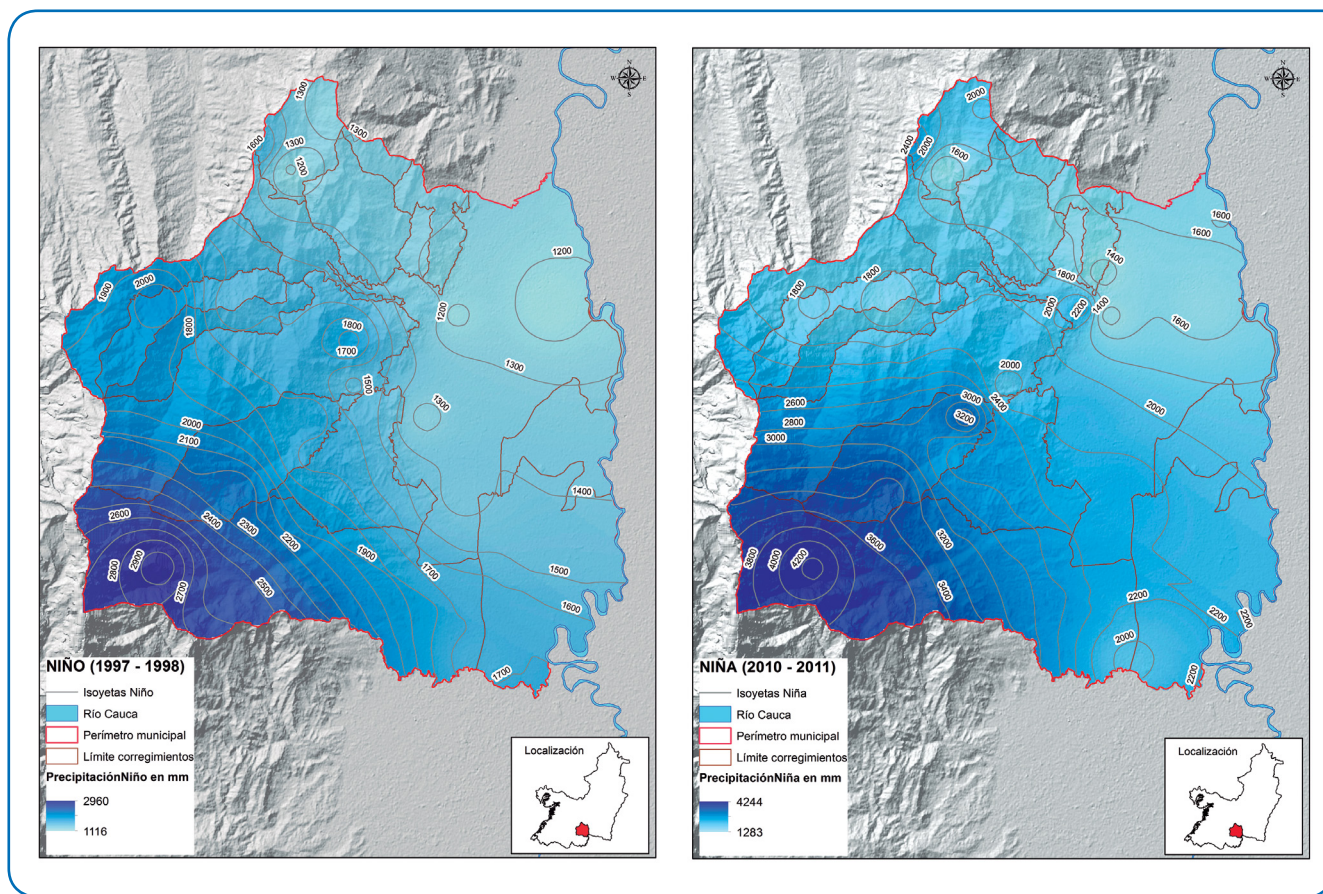


Figura 6. Isoyetas eventos extremos ENOS (mm).

En cuanto al comportamiento de la temperatura, durante ambos escenarios no se observan, al igual que para la precipitación, cambios significativos en el comportamiento espacial de la variable. Las diferencias térmicas tampoco representan grandes cambios, según

lo observado en la Figura 7. Durante el evento El Niño, las temperaturas varían desde los 25 a los 16 °C en la zona baja y alta del municipio, respectivamente, y durante La Niña estos valores disminuyen a 24 y 15 °C, aproximadamente.

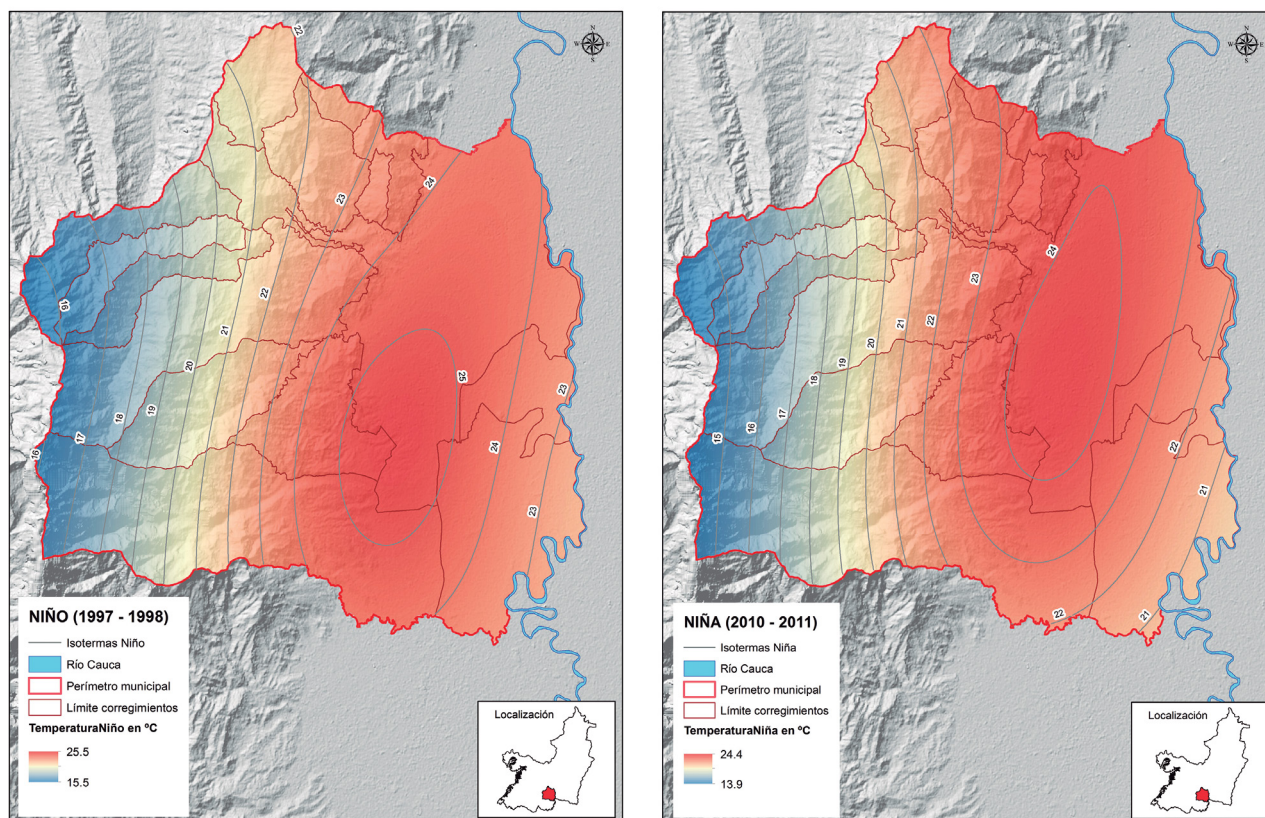


Figura 7. Isotermas eventos extremos ENOS (°C).

Análisis de la red hidroclimatológica del municipio de Santiago de Cali

Se analizaron las estaciones ubicadas al interior del perímetro municipal, contando con 20 para la medición de la precipitación y 4 para la temperatura. Las estaciones analizadas se encuentran actualmente activas, siendo los registros de precipitación los más extensos con más de 30 años, mientras que los registros de temperatura en general presentan períodos muy desiguales entre estaciones (desde 30 hasta 10 años).

Zonificación altitudinal y densidad de estaciones

Teniendo en cuenta la importancia de la variación altitudinal en la precipitación y temperatura, se realizó

la clasificación o zonificación altitudinal (Figura 8) de las estaciones que en el municipio miden estas variables, de acuerdo con lo definido por Carvajal et al. (2010), donde la zona baja corresponde al 46.3%, la media al 43.2% y la alta al 10.5% del total del área del municipio; es decir, que la mayor parte del territorio se ubica en altitudes que van desde los 1.200 a los 2.500 msnm, siendo además la zona donde se ubican la mayoría de las estaciones de precipitación (67% de las estaciones). En relación con la densidad de las estaciones de temperatura (derecha), la cobertura dentro del área del municipio es baja, principalmente hacia la zona alta donde las variaciones climáticas son mayores.

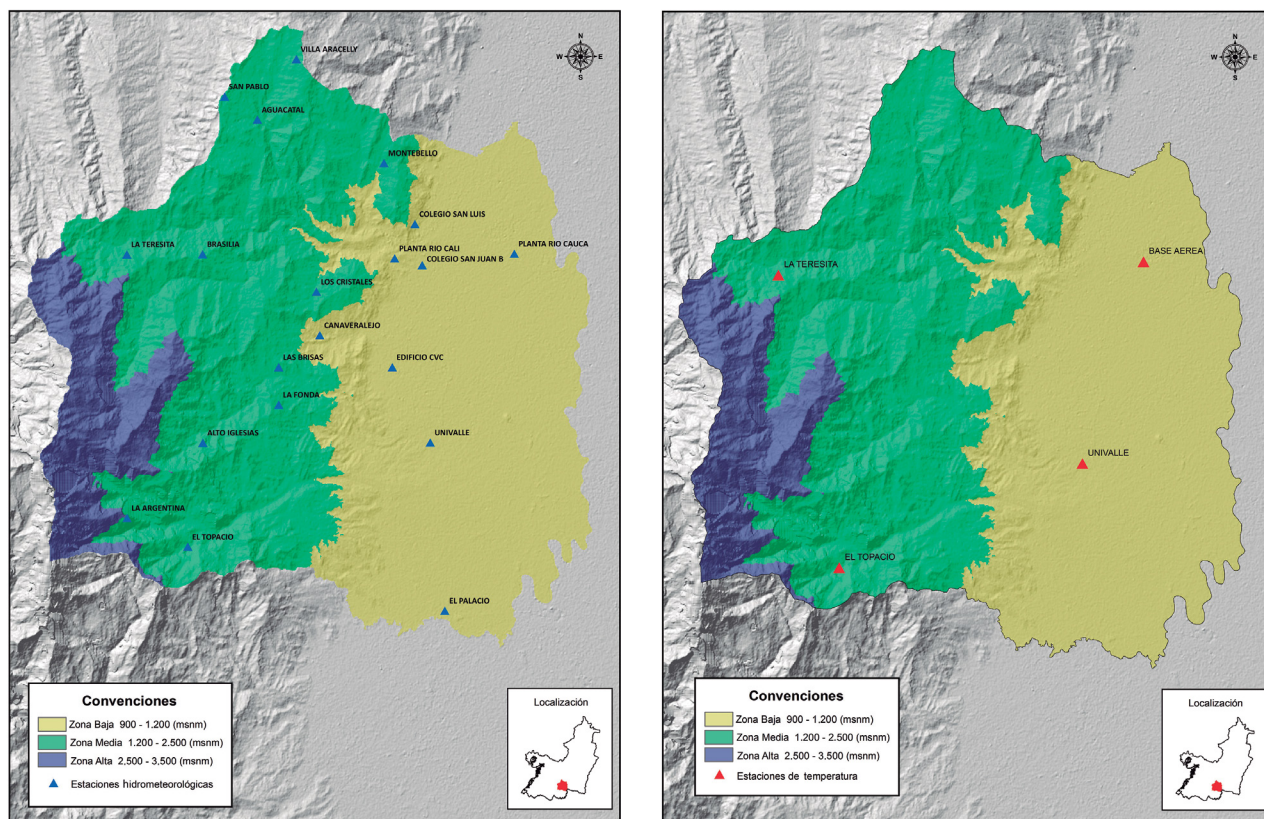


Figura 8. Zonificación altitudinal de las estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha).

De acuerdo con las recomendaciones de la OMM (Cuadro 9), el municipio de Santiago de Cali cumple con los requerimientos mínimos de densidad en km^2 por estación de precipitación sugeridos para los rangos

altitudinales que comprenden las zonas media y baja del municipio; sin embargo, para la zona alta se presenta carencia de estaciones, quedando esta zona descubierta de monitoreo.

Cuadro 9. Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas.

Unidad fisiográfica	Superficie recomendada ($\text{km}^2/\text{estación}$)	Área (km^2)	Número de estaciones	Densidad actual ($\text{km}^2/\text{estación}$)
Zona montañosa (zona alta)	250	58.97	0	0
Ondulaciones y montaña (zona media)	575	242.64	12	21.67
Planicie interior (zona baja)	575	260.05	8	30.33

Fuente: Adaptado de OMM (1994).

Radio de cubrimiento

En la Figura 9 se presentan los radios de cubrimiento de las estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha) seleccionadas para el análisis. Esta selección se realizó teniendo en cuenta las estaciones ubicadas al interior del perímetro municipal y que hacen parte de la red de monitoreo de las instituciones CVC e IDEAM, por

la longitud de sus registros. Para el caso de las estaciones de temperatura se analizaron solo 4 estaciones ubicadas en la zona urbana y media alta del municipio, teniendo en cuenta los registros históricos de cada una, siendo las de mayor antigüedad en el municipio.

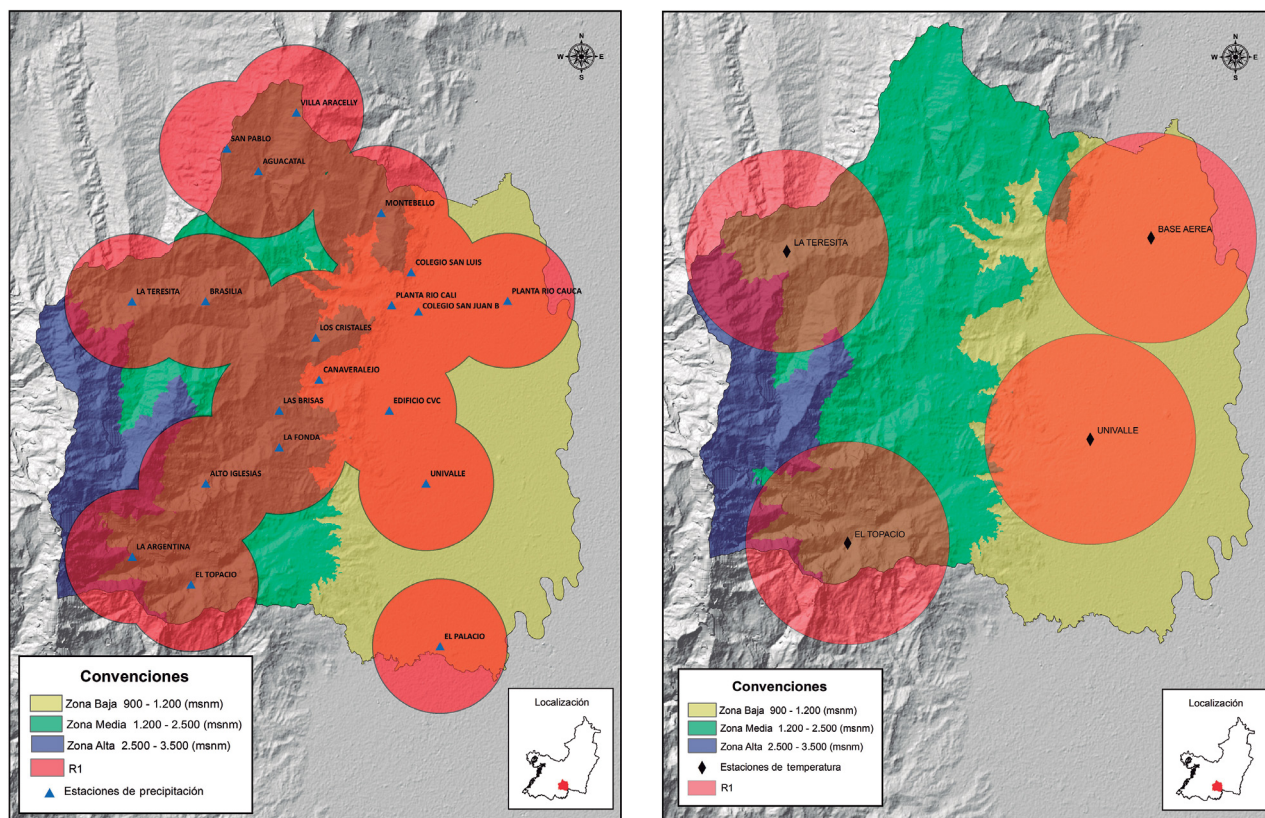


Figura 9. Radio de influencia de las estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha).

De acuerdo con los radios de cubrimiento calculados, en general, tanto en la red de monitoreo de la precipitación como de la temperatura, se presentan zonas descubiertas o sin información, principalmente hacia la zona alta del municipio, donde hay ausencia total de estaciones hidrometeorológicas, a pesar de ser una zona, de acuerdo con su orografía, con alta variabilidad climática y de recarga de las cuencas hidrográficas del municipio. El caso más crítico en cuanto a cobertura se presenta en el monitoreo de la temperatura, donde gran parte de la zona media y el total de la zona alta presentan vacíos de información, lo

cual no permite un análisis y conocimiento adecuado del comportamiento de dicha variable y su influencia en los diferentes procesos hidrometeorológicos que se dan al interior del municipio. Para el caso del monitoreo de la precipitación, a pesar de que el análisis de densidad infiere que se cumple con el número de estaciones recomendadas por la OMM, es importante tener en cuenta que las condiciones topográficas y orográficas del municipio determinan en gran medida la variabilidad de la lluvia, presentando diferencias hasta de 2.600 mm entre las zonas baja y alta de la zona para períodos de altas precipitaciones (eventos La Niña).

Con base en lo anterior, en la Figura 10 se presenta el radio de emplazamiento óptimo o adecuado para la ubicación de posibles estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha) que permitan cubrir las áreas en las que actualmente no existe monitoreo de estas variables. De acuerdo con los

resultados, y basados en el radio de cubrimiento, se sugieren 5 nuevas estaciones para monitoreo de la precipitación y 3 estaciones para la temperatura; estas, por su localización, permitirían un cubrimiento total del registro de dicha variable en el municipio.

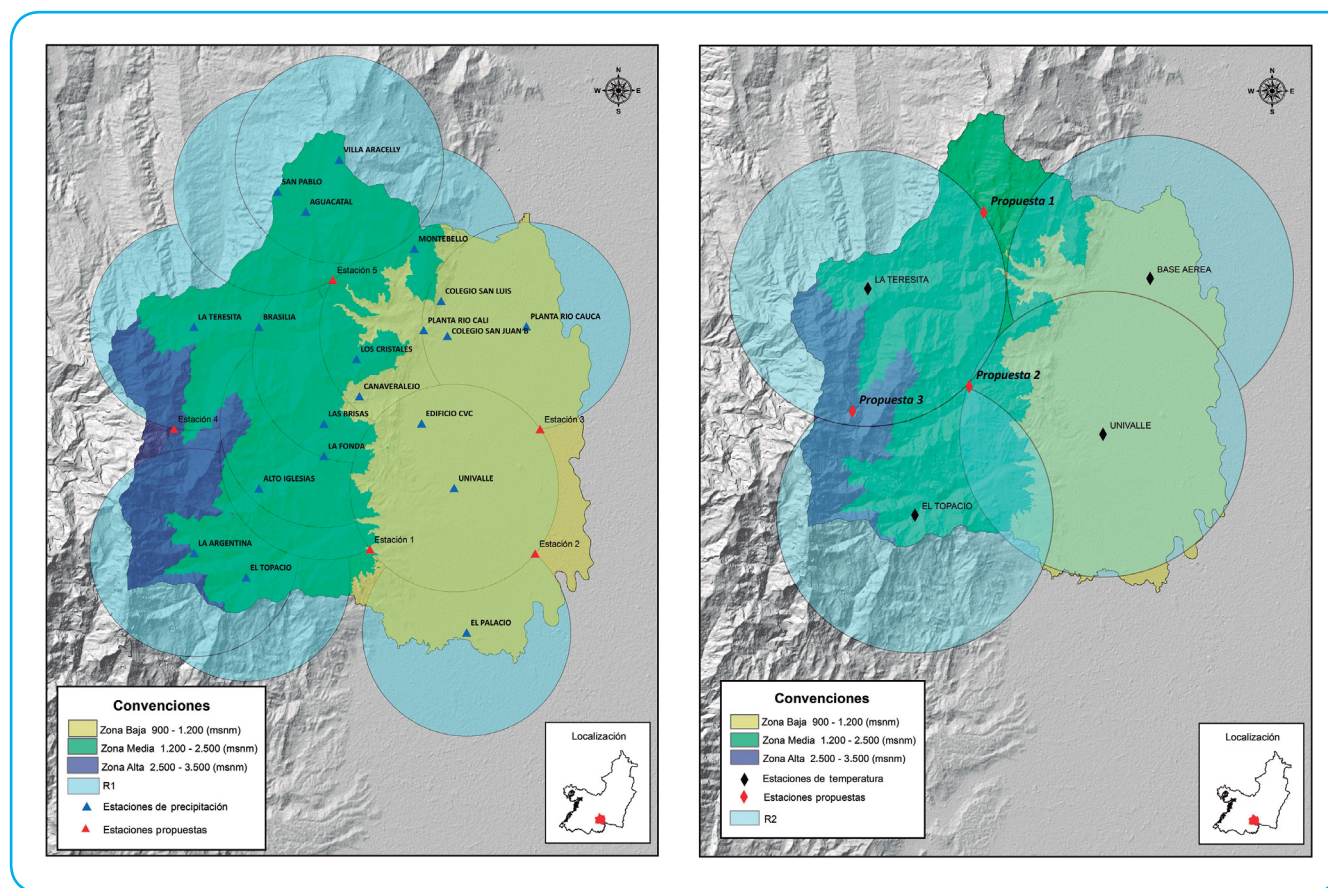


Figura 10. Radio de emplazamiento óptimo para estaciones de precipitación (izquierda) y temperatura (derecha) proyectadas.

En el Cuadro 10 se presenta la posible ubicación en cuanto al corregimiento y subcuenca para las estaciones propuestas. Cabe anotar que esta ubicación se considera únicamente con base en los radios de cubrimiento. Para una adecuada selección de nuevas estaciones de monitoreo y una distribución óptima

de una red hidroclimatológica, es necesario realizar análisis más detallados que involucren otras variables o factores, tales como variabilidad climática de la zona, importancia hidrológica, factores orográficos y demográficos, facilidad de acceso a la zona, seguridad social, entre otros.

Cuadro 10. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas propuestas.

Variable	Estaciones propuestas	Corregimiento	Subcuenca
Precipitación	Estación 1	Pance	Río Pance
	Estación 2	El Hormiguero	Río Cauca
	Estación 3	Navarro	Río Cauca
	Estación 4	Los Andes	Río Pichindé
	Estación 5	El Saladito	Río Aguacatal
Temperatura	Propuesta 1	La Elvira	Río Aguacatal
	Propuesta 2	Villacarmelo	Río Meléndez
	Propuesta 3	Los Andes	Río Pichindé

Para el caso de la red de monitoreo de la precipitación, se realizó el análisis de correlación de las estaciones, a partir del cual se obtuvo que en general todas las estaciones presentan una correlación aceptable, superior a un valor de 0.7, indicando un comportamiento climatológico similar (González, 1995) (Anexo 5), es decir, que existe gran probabilidad de remplazar o encontrar datos faltantes de estaciones que han suspendido su registro durante algún período. Con este análisis se pueden determinar algunas de las principales estaciones en

cuanto a su cubrimiento y representatividad en el área de estudio. Las estaciones con mayor correlación son las ubicadas en la zona media del municipio (ver Figura 2, izquierda), siendo El Topacio y La Argentina las de mayor correlación (0.911) (Cuadro 11) y las de menor correlación son las estaciones que se encuentran a mayor altura, lo cual sustenta, como se ha venido mencionando en los anteriores análisis, la gran variabilidad climática en la zona alta del municipio.

Cuadro 11. Estaciones de precipitación con mayor correlación de Pearson.

Estación	Estación de correlación	Correlación
La Argentina	El Topacio	0.911
Univalle	Edificio CVC	0.868
Colegio San Juan Bosco	Colegio San Luis	0.860
Las Brisas	La Fonda	0.856
El Topacio	San Vicente	0.853
La Fonda	Alto Iglesias	0.824
Las Brisas	Los Cristales	0.822

Análisis espacio-temporal de índices extremos de precipitación y temperatura

Del análisis de los índices extremos de precipitación, en la Figura 11 se observa que en la mayoría de las estaciones la tendencia es al aumento de eventos máximos asociados a precipitaciones extremas de 1 día (RX1day) y de 5 días consecutivos (RX5day), además de los eventos que superan el percentil 95 (R95P), siendo más notable este aumento hacia la zona urbana del municipio,

con incrementos que van desde los 0.9 mm/año para el RX1day, 1.8 mm/año para el RX5day, hasta los 10.4 mm/año para los R95P (Figura 12). Por otro lado, las tendencias negativas en la precipitación se encuentran principalmente hacia la zona media baja del municipio, con disminuciones hasta de 0.5 mm/año en las RX1day, 1.3 en RX5day y 6.7 en R95P.

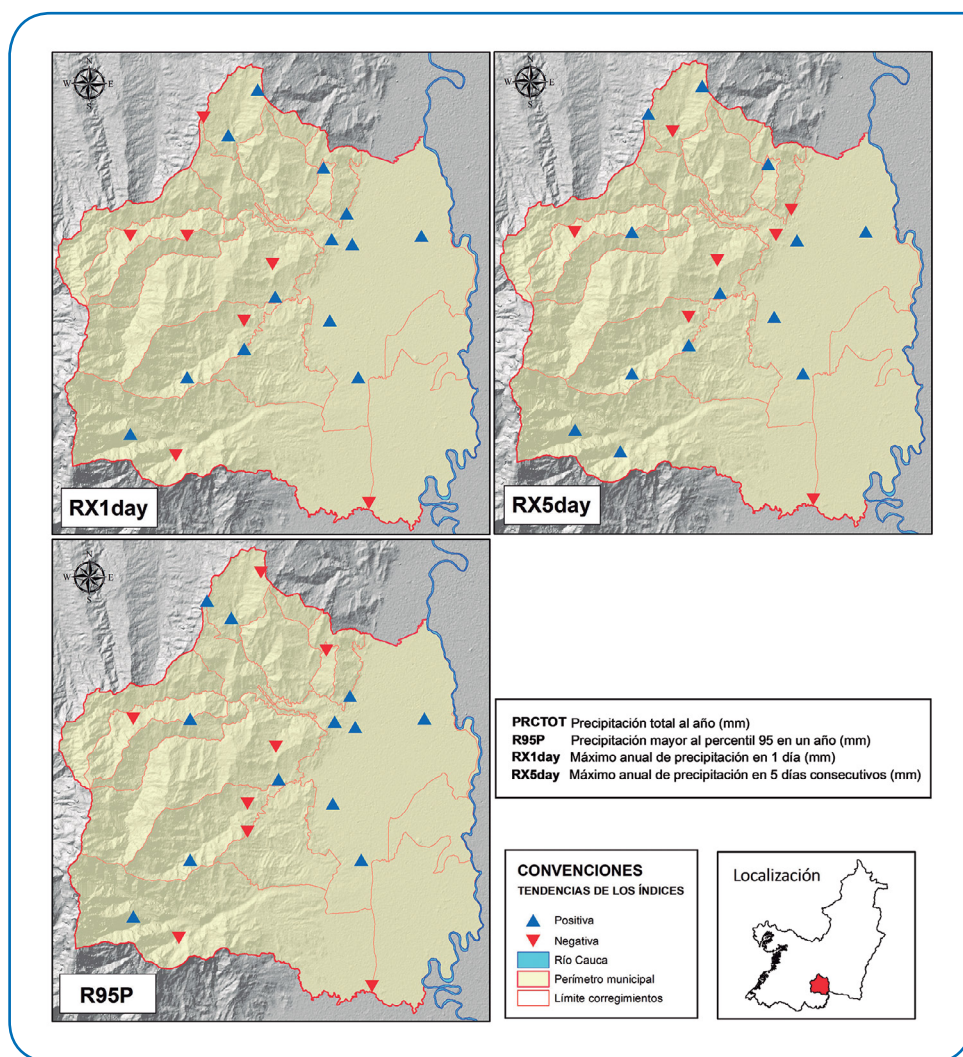


Figura 11. Tendencia de los índices extremos de precipitación por estación.

En la Figura 12, se puede observar el comportamiento espacial de las tendencias para los tres índices extremos analizados. Para las precipitaciones máximas en 1 día, la distribución espacial de las tendencias indica que la zona que podría presentar mayor impacto por el aumento de este tipo de eventos es la zona urbana, mientras que en el resto del municipio la tendencia en general es a la disminución de las mismas. Para las precipitaciones máximas en 5 días consecutivos, esta distribución

presenta un comportamiento más heterogéneo, con incrementos hacia el sur de la ciudad y la zona del PNN Farallones de Cali; y disminuciones en el sector norte de la zona urbana y el noroccidente del municipio. En el caso de las precipitaciones que superan el percentil 95, los eventos tienden a aumentar principalmente hacia el sector norte de la ciudad y los Farallones de Cali, disminuyendo hacia el noroccidente y suroriente del municipio.

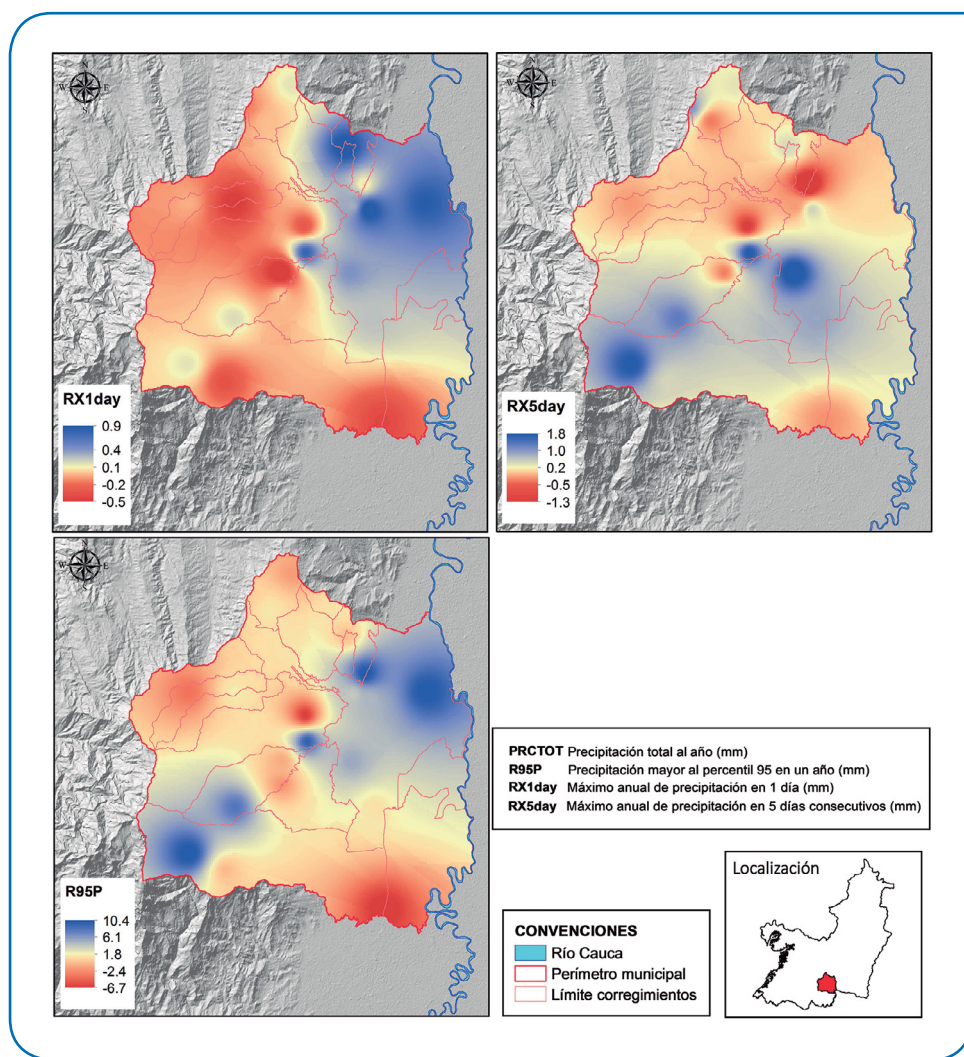


Figura 12. Interpolación de las tendencias de los índices extremos de precipitación en el municipio.

En cuanto a las tendencias de los eventos extremos de temperatura diaria en el municipio, no fue posible realizar un análisis completo para todo el municipio, principalmente por la calidad de los datos y la longitud en los registros que requiere el RClimDex para calcular dichos índices; con los datos utilizados se logró obtener un acercamiento del comportamiento de estos índices en la zona plana del municipio tomando como referencias estaciones aledañas, como se observa en la

Figura 13. En general se observa que hacia el sur de la ciudad la tendencia en la mayoría de las estaciones es a la disminución de la temperatura mínima y máxima diaria. Sin embargo, este comportamiento no es representativo para el municipio, haciéndose necesario, como se expuso en el análisis de la red hidrometeorológica, la instalación de nuevas estaciones que midan esta variable.

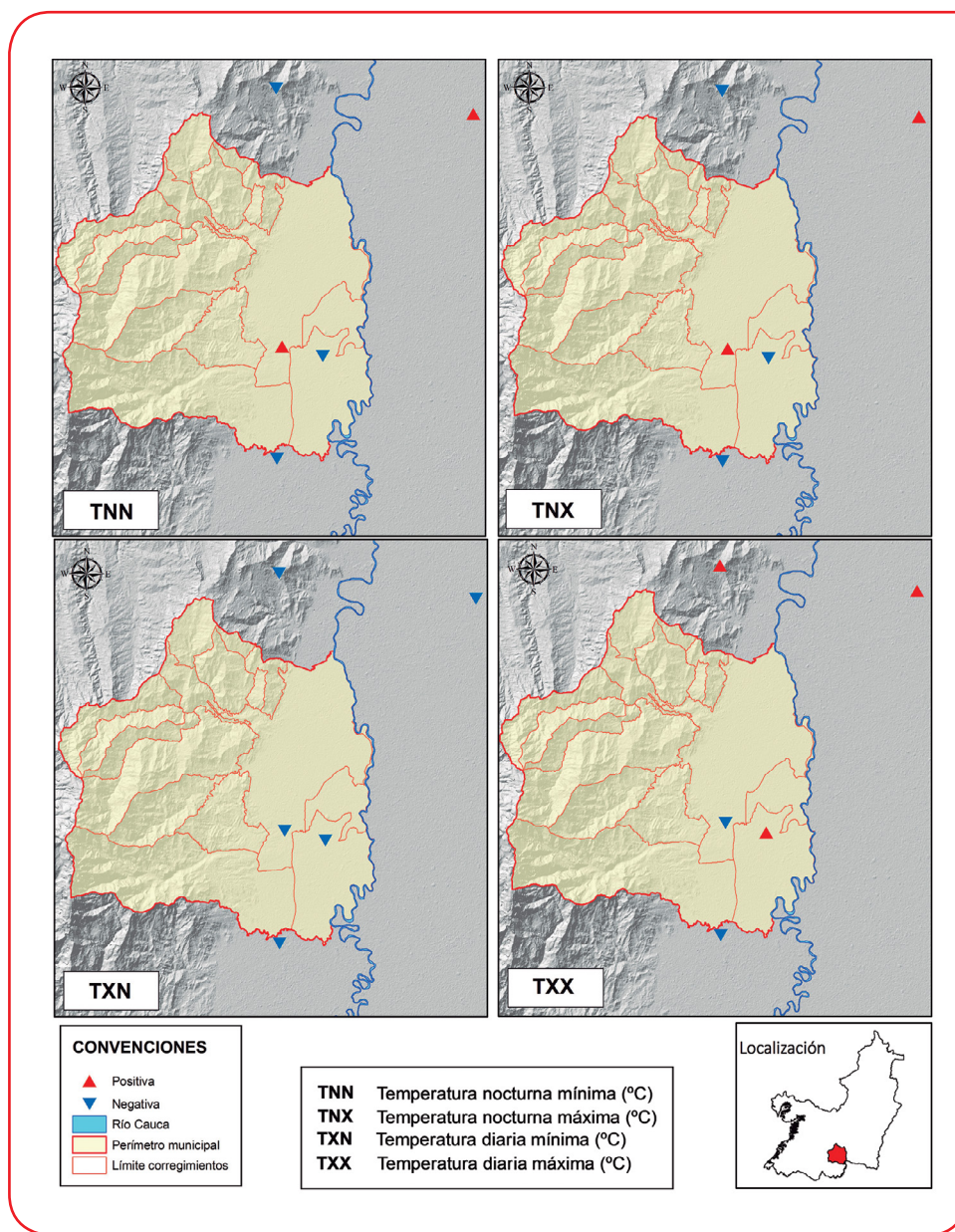


Figura 13. Tendencia de los índices extremos de temperatura por estación.

Detección y caracterización de microzonas climáticas

Clasificación climática de Caldas

En el Cuadro 12 se presenta la clasificación por pisos térmicos para el municipio de Santiago de Cali, según lo establecido por Caldas. De acuerdo con esta

clasificación, aproximadamente la mitad del municipio (44.8%) se encuentra en una clasificación de piso térmico templado, que corresponde a alturas que van desde los 1.000 a los 2.000 msnm, seguido del cálido, con un 33.7% que corresponde principalmente a la zona urbana (Figura 14). En menor proporción se encuentran la zona correspondiente al clima frío con un 17.4%, y el páramo con un 4.1% del total.

Cuadro 12. Clasificación según Caldas de los pisos térmicos para el municipio de Santiago de Cali.

Clase	Piso térmico	Símbolo	Área (km²)	%
1	Cálido	C	189.4	33.7
2	Templado	T	251.7	44.8
3	Frío	F	97.5	17.4
4	Páramo Bajo	Pb	21.1	3.8
5	Páramo Alto	Pa	1.9	0.3

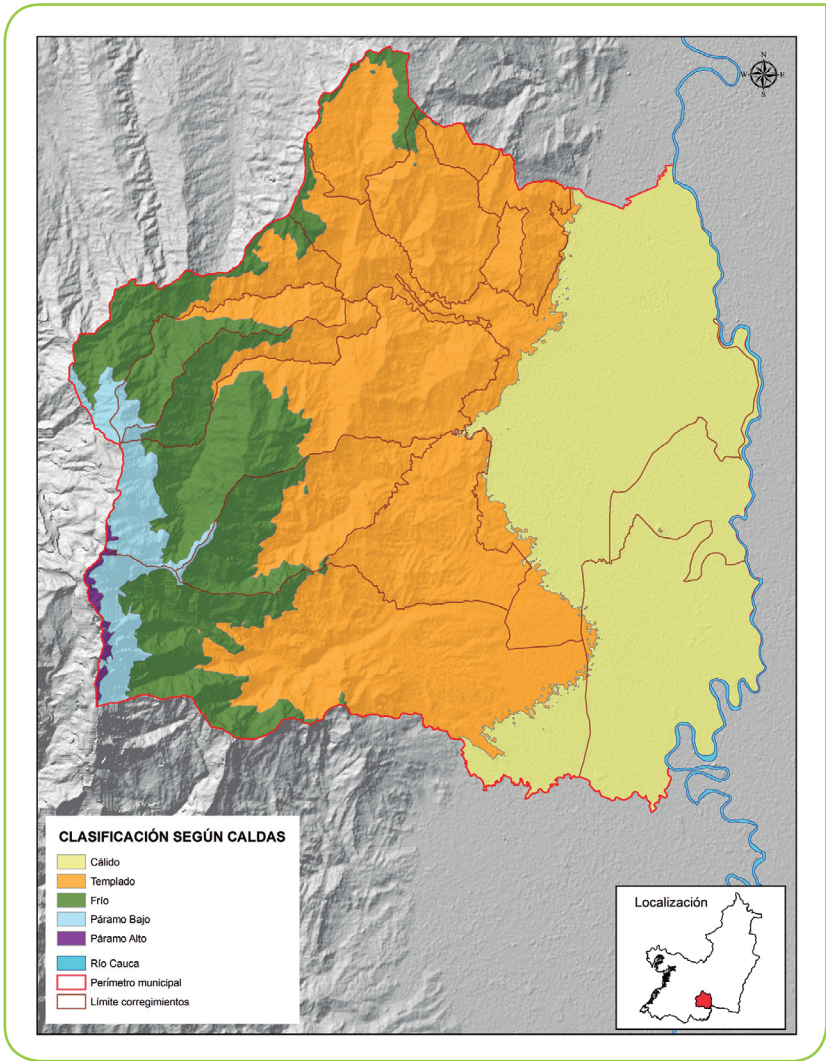


Figura 14. Pisos térmicos del municipio de Santiago de Cali.

Clasificación climática de Lang

En el Cuadro 13 se presenta la clasificación por rangos climáticos para el municipio, según lo establecido por Lang, siendo el clima semihúmedo el de mayor predominancia con un 52.5% del total, ubicado en las

zonas media y baja del municipio; seguido del clima semiárido con un 20.6%, presente en la zona plana del mismo; el clima húmedo con un 16.8%; y el superhúmedo con un 10.1%, en la zona alta correspondiente al área del PNN Farallones de Cali (Figura 15).

Cuadro 13. Clasificación según Lang de los rangos climáticos para el municipio de Santiago de Cali.

Clase	Clase de clima	Símbolo	Área (km²)	%
1	Semiárido	sa	115.8	20.6
2	Semihúmedo	sh	294.5	52.5
3	Húmedo	H	94.4	16.8
4	Superhúmedo	SH	56.5	10.1

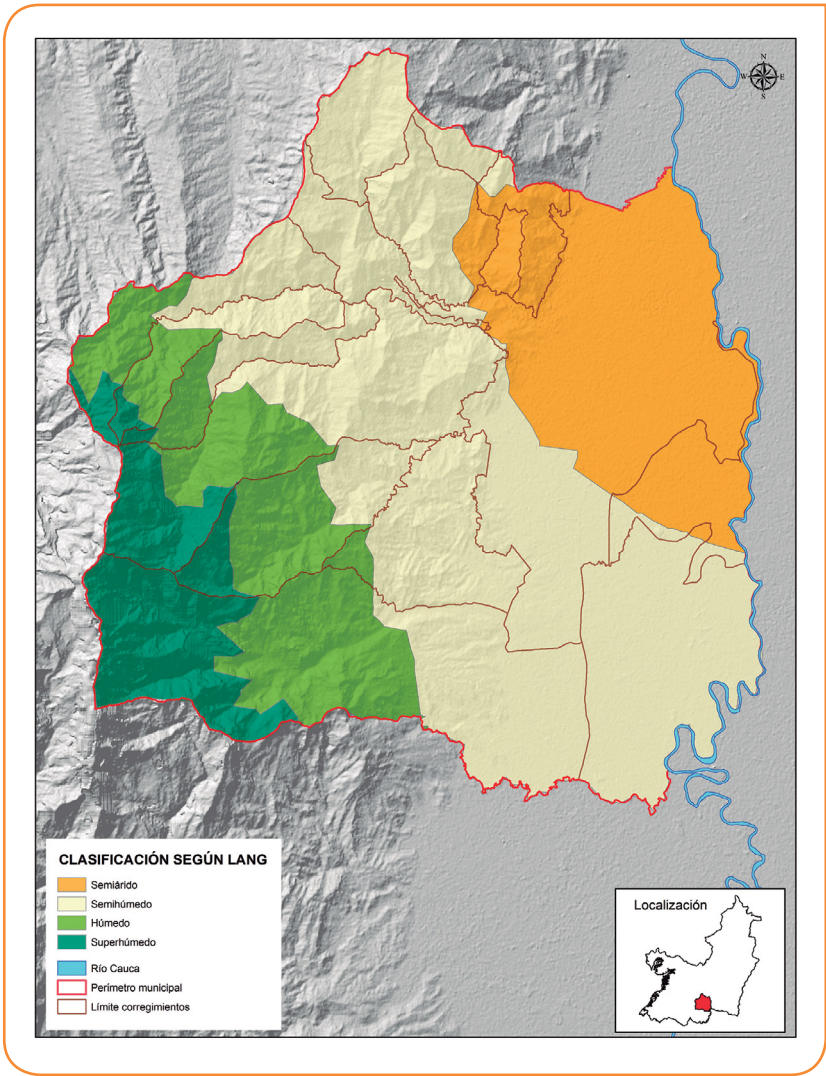


Figura 15. Rangos climáticos del municipio de Santiago de Cali.

Clasificación climática Caldas-Lang

En el Cuadro 14 se presentan las características de las clases de clima o microzonas climáticas del municipio de Santiago de Cali, clasificado en 10 zonas homogéneas que van desde el clima cálido semihúmedo (CsH) al suroccidente del municipio, hasta el clima de páramo alto superhúmedo (PASH) en la zona más alta sobre la Cordillera Occidental (Figura 16). La microzona

climática de mayor predominancia corresponde al clima templado semihúmedo (Tsh), que ocupa el 32.6% del total del municipio, principalmente hacia la zona media y baja del mismo, con alturas que van desde los 1.000 a los 2.000 msnm, y precipitaciones promedio que varían entre los 1.200 y los 2.200 mm al año.

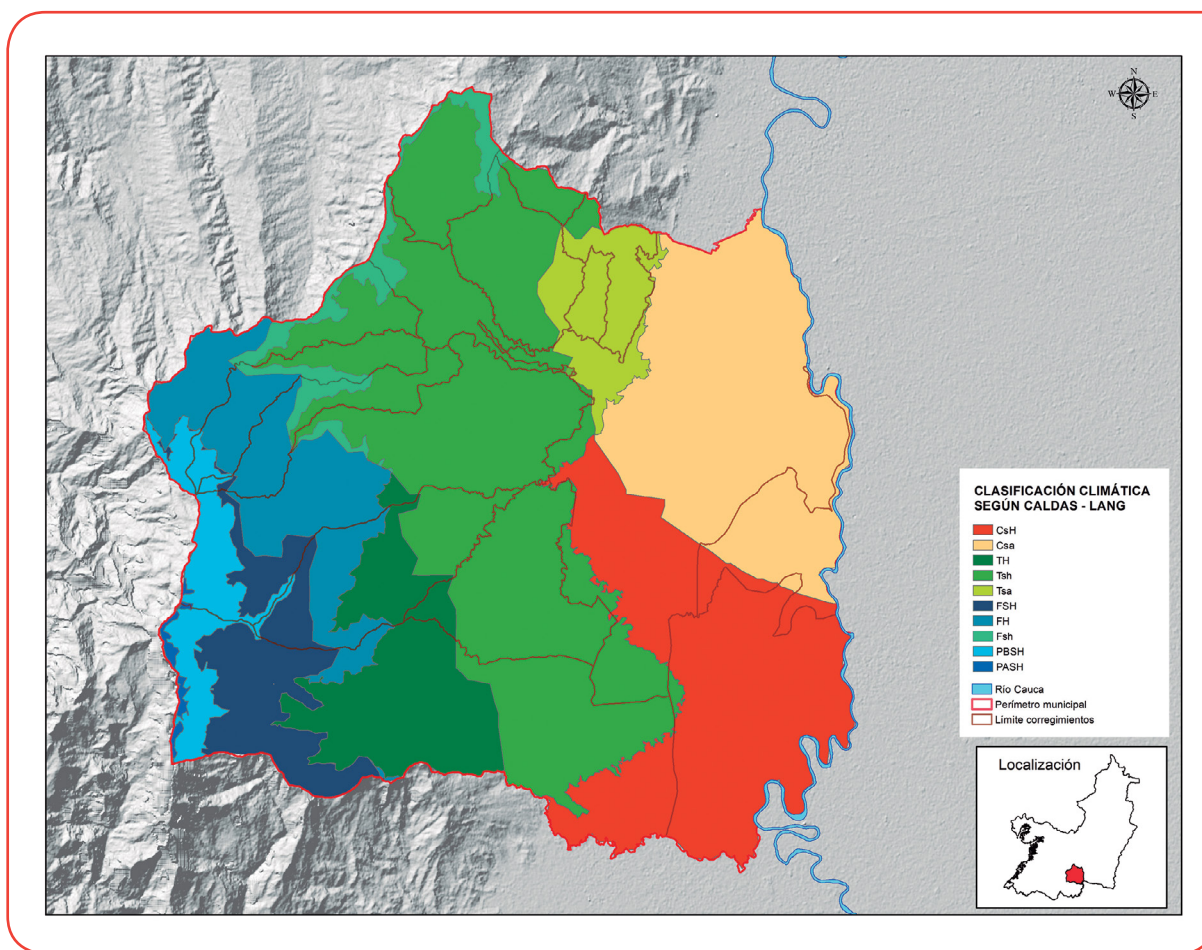


Figura 16. Microzonificación climática del municipio de Santiago de Cali.

Cuadro 14. Clasificación climática Caldas-Lang para el municipio de Santiago de Cali.

Ítem	Tipo climático	Símbolo	Altura	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Área (km ²)	%
1	Cálido Semihúmedo	CsH	0 a 1.000	23.7 a 24.2	1.427 a 2.184	96.6	17.3
2	Cálido Semiárido	Csa	0 a 1.000	23.7 a 24.3	1.134 a 1.447	91.8	16.4
3	Templado Húmedo	TH	1.001 a 2.000	16.5 a 22.7	1.841 a 3.007	45.8	8.2
4	Templado Semihúmedo	Tsh	1.001 a 2.000	17.4 a 23.8	1.164 a 2.319	182.3	32.6
5	Templado Semiárido	Tsa	1.001 a 2.000	20.8 a 23.9	1.170 a 1.421	23.6	4.2
6	Frío Superhúmedo	FSH	2.001 a 3.000	10.6 a 17.8	1.841 a 3.030	32.5	5.8
7	Frío Húmedo	FH	2.001 a 3.000	11.3 a 18.3	1.631 a 2.783	49.5	8.8
8	Frío Semihúmedo	Fsh	2.001 a 3.000	15.8 a 17.7	1.321 a 1.757	14.7	2.6
9	Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH	3.001 a 3.700	5.0 a 12.5	1.782 a 2.916	20.9	3.7
10	Páramo Alto Superhúmedo	PASH	3.701 a 4.200	5.0 a 8.1	2.322 a 2.810	1.7	0.3

Las principales características de las zonas climáticas identificadas en el municipio de Santiago de Cali, de acuerdo con la Figura 16, el Cuadro 14 y con CVC (2010), citado por el DAPM (2014) son:

Clima cálido semihúmedo (CsH). Está localizado en la zona plana del municipio hacia el suroriente del mismo, en el valle geográfico del río Cauca. Dentro del área que abarca esta zona climática se encuentran los corregimientos El Hormiguero y parte de Navarro y Pance, correspondiente al 17.3% del total del municipio. Esta zona presenta una precipitación promedio de 1.427 a 2.184 mm al año y temperatura promedio de 24 °C. En esta zona climática se encuentran los ecosistemas de bosque cálido húmedo y seco en piedemonte y planicie aluvial.

Clima cálido semiárido (Csa). Está localizado en la zona de llanura aluvial del río Cauca, correspondiente al municipio de Navarro y gran parte de la zona urbana de Santiago de Cali (centro-oriente), abarcando el 16.4% del área total. Se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1.290 mm al año y una temperatura promedio de 24 °C. El ecosistema característico de esta zona climática es el bosque cálido seco en piedemonte y planicie aluvial.

Clima templado húmedo (TH). Se encuentra localizado hacia la zona suroccidente del municipio con alturas que van desde los 1.000 a los 2.000 msnm. Esta zona climática abarca principalmente los corregimientos de Pance y Villacarmelo, hacia su parte media; además, parte del área de los corregimientos La Buitrera y Los Andes, siendo el 8.2% del área total del municipio. Las precipitaciones varían desde los 1.841 a los 3.000 mm al año, con temperaturas que van desde los 22 a los 16 °C. Las condiciones climáticas de esta zona permite el desarrollo del ecosistema de bosque medio húmedo en montaña fluvio-gravitacional.

Clima templado semihúmedo (Tsh). Esta zona climática abarca el 32% del municipio y se encuentra localizada hacia la parte media con altitudes desde los 1.000 a los 2.000 msnm. Es la zona climática que comprende la mayoría de los corregimientos, desde Pance en el sur hasta La Elvira en el norte del municipio, con precipitaciones promedio que van desde los 1.164 a los 2.319 mm al año y temperaturas desde los 23.8 a los 17.4 °C. Los demás corregimientos que presentan estas características climáticas en gran parte de su territorio son La Buitrera, Villacarmelo, Los Andes, Pichindé, La Leonera, Felidia, El Saladito, La Castilla, La Elvira, La Paz, Golondrinas, además de la zona suroccidente

de la ciudad de Cali. Las principales características de los ecosistemas ubicados en esta zona climática son arbustales y matorrales medio secos y secos de montaña y piedemonte y, en su mayoría, bosque medio húmedo de montaña.

Clima templado semiárido (Tsa). Se encuentra ubicado hacia el norte del municipio en zona de piedemonte, principalmente en los corregimientos de Golondrinas, Montebello y La Castilla, y la zona occidental urbana. Abarca solo el 4.2% del municipio y presenta precipitaciones promedio de 1.295 mm al año y temperaturas entre los 24 y 21 °C. El principal ecosistema bajo estas condiciones climáticas es el de arbustales y matorrales medio secos en montaña fluvio-gravitacional.

Clima frío superhúmedo (FSH). Esta zona climática se ubica a una altura aproximada a los 3.000 msnm, hacia el suroccidente del municipio, principalmente hacia la zona alta del corregimiento de Pance, Villacarmelo y Los Andes, abarcando el 5.8% del total del área municipal. Este clima se caracteriza por presentar precipitaciones entre los 1.841 a los 3.030 mm al año, con temperaturas que van desde los 17.8 a los 10.6 °C. Este tipo de clima es característico de la zona del PNN Farallones de Cali, con una topografía escarpada y alta vegetación. Bajo estas condiciones climáticas se encuentra el bosque frío muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional.

Clima frío húmedo (FH). Este clima se encuentra en gran parte de la zona alta del municipio, hacia el occidente en inmediaciones del PNN Farallones de Cali y corresponde a un 8.8% del área total. Los corregimientos que presentan estas características climáticas son Villacarmelo, Los Andes, Pichindé, La Leonera y Felidia. Las precipitaciones varían entre 1.631 a 2.783 mm al año y las temperaturas entre 18.3 a 11.3 °C. El ecosistema que predomina en esta zona

climática es el de bosque frío húmedo y muy húmedo en montaña fluvio-gravitacional.

Clima frío semihúmedo (Fsh). Se encuentra hacia el sector noroccidental del municipio, abarcando un 2.6% del área total. Las precipitaciones en esta zona están en promedio en 1.539 mm al año y con temperaturas promedio de 17 °C. Los corregimientos que presentan tales características climáticas, principalmente hacia sus zonas altas, son La Paz, La Castilla, La Elvira y El Saladito, y en la zona media de Felidia, La Leonera, Pichindé y Los Andes. Esta zona climática presenta ecosistemas de bosque medio húmedo y frío húmedo de montaña.

Clima páramo bajo superhúmedo (PBSH). Esta zona se ubica hacia la parte más alta del municipio llegando a altitudes de 3.700 msnm, con precipitaciones desde los 1.782 a los 2.916 mm al año, y temperaturas que pasan de los 12.5 a los 5 °C. Este tipo de clima abarca el 3.7% del total del municipio y se encuentra en su totalidad en área del PNN Farallones de Cali, principalmente en los corregimientos de Pance, Los Andes, La Leonera y Felidia. Esta zona climática presenta características de bosque frío pluvial en montaña fluvio-glacial.

Clima páramo alto superhúmedo (PASH). Esta zona climática es la que menor porcentaje abarca del área municipal (0.3%); sin embargo, representa unas características de suma importancia para el municipio, ya que se encuentra en la zona de mayor altitud del mismo con alturas que pueden llegar a los 4.000 msnm y siendo una importante área de almacenamiento y recarga para las cuencas que drenan el municipio. Las precipitaciones pueden alcanzar en promedio hasta los 2.810 mm al año, y la temperatura hasta los 5 °C. El tipo de ecosistema que se encuentra bajo estas condiciones climáticas son los herbazales y pajonales extremadamente frío pluvial en montaña fluvio-glacial.

Conclusiones

En términos generales, el municipio de Santiago de Cali cuenta con una red de medición de precipitación adecuada para su área. Sin embargo, existe una alta variación espacial de las condiciones climatológicas del municipio en relación con los rangos altitudinales que comprende; es por esto que se considera necesario la instalación de al menos una estación que monitoree las dinámicas que ocurren en la zona de mayor altura, caracterizada por presentar características climáticas de frío y páramos alto y bajo superhúmedo, donde los niveles de precipitación y las dinámicas atmosféricas son mayores. Esta zona, además de estar inmersa dentro del PNN Farallones de Cali, representa las áreas de recarga de la red hídrica que abastece al municipio, convirtiéndose así en un punto estratégico para la conservación de los ecosistemas.

El monitoreo del comportamiento de la temperatura en el municipio presenta un alto déficit de estaciones, principalmente hacia la zona alta y media, lo cual no permite un adecuado análisis de su comportamiento e imposibilita la detección de posibles tendencias que ayuden a evaluar el impacto de las dinámicas climáticas globales sobre el municipio, principalmente sobre los ecosistemas de páramo como reguladores hídricos. En relación con el monitoreo de la temperatura en la parte baja del municipio, existen nuevas estaciones con las que se espera cubrir los vacíos de información, principalmente en la zona urbana, como son la estación Era, La Flora, Compartir y Pance, manejadas por el DAGMA. Con esta nueva red se espera recopilar datos que permitan conocer en un futuro, de manera más precisa, el comportamiento de las variables hidrometeorológicas sobre la ciudad de Cali.

Las tendencias de los eventos extremos de precipitación representan la gran variabilidad temporal y espacial

de la lluvia en el municipio, permitiendo identificar a futuro posibles comportamientos de las precipitaciones máximas y los lugares en donde estas variaciones pueden generar mayores impactos. Sin embargo, las tendencias generadas no condicionan que las lluvias en la región seguirán dicho comportamiento, pero representan insumos importantes que ayudan a obtener una visión aproximada de la variabilidad climática que caracteriza al municipio. En este sentido, con base en los resultados obtenidos, la zona urbana es una de las regiones que se vería más afectada por el posible incremento de las precipitaciones relacionadas con lluvias máximas, condicionando la presencia de eventos como inundaciones, deslizamientos, avalanchas, entre otros, que pondrían en riesgo la estructura urbana y el bienestar social de la ciudad.

Mejorar el conocimiento de la climatología del municipio por medio de la identificación detallada de las diferentes microzonas, ayuda a comprender de forma más precisa y adecuada las condiciones climáticas que predominan en este territorio, facilitando la planificación y el manejo óptimo de los recursos naturales que caracterizan al municipio, encontrándose ecosistemas que van desde los bosques secos en planicies aluviales hasta los ecosistemas de alta montaña como los páramos superhúmedos, abarcando una gran variedad de ecosistemas intermedios que generan las condiciones necesarias para el desarrollo de diferentes especies de flora y fauna y la gran riqueza hídrica que posee el municipio. La determinación de las diferentes regiones climáticas que se pueden encontrar en el municipio permite una mejor planificación del territorio, determinando zonas de especial interés en cuanto a los servicios ecosistémicos que brindan al municipio.

Anexos

Anexo 1. Consenso del IDEAM para la clasificación de diferentes fases del ENOS.

El Niño			La Niña			Normal o NO ENOS	
Débil	Moderado	Fuerte	Débil	Moderado	Fuerte		
1963-64	1951-52	1965-66	1954-55	1950-51	1955-56	1952-53	1953-54
1968-69	1957-58	1972-73	1956-57	1970-71	1973-74	1958-59	1959-60
1969-70	1977-78	1982-83	1962-63	1998-99	1975-76	1960-61	1961-62
1976-77	1987-88	1991-92	1964-65	2000-01	1988-89	1966-67	1978-79
1986-87	1994-95	1997-98	1967-68	2007-08	2010-11	1979-80	1980-81
1992-93	2002-03	1971-72				1981-82	1983-84
2004-05	2009-10	1974-75				1985-86	1989-90
2006-07	1984-85					1990-91	1993-94
1995-96						1996-97	2001-02
1999-00						2003-04	2005-06
2008-09							

Fuente: Bedoya et al. (2010).

Anexo 2. Descripción general de los índices extremos climáticos del RCLimDex.

Código	Índices/ (Unidad)	Detalle	Agrupaciones
01	CDD (días)	Mayor número de días secos consecutivos en un año	Asociados al comportamiento de la precipitación y de eventos extremos de lluvia
02	CWD (días)	Mayor número de días húmedos consecutivos en un año	
03	PRCTOT (mm)	Precipitación total al año	
04	R10mm (días)	Número de días en un año con lluvia mayor a 10 mm	
05	R20mm (días)	Número de días en un año con lluvia mayor a 20 mm	
06	Rnnmm (días)	Número de días en un año con lluvia mayor a nn	
07	R95P (mm)	Cantidad total de precipitación mayor al percentil 95 en un año	
08	R99P (mm)	Cantidad total de precipitación mayor al percentil 99 en un año	
09	RX1day (mm)	Máximo anual de precipitación en 1 día	
10	RX5day (mm)	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos	
11	SDII (mm/día)	Precipitación total anual /días con lluvia al año con (precipitación > 1.0 mm)	
12	DTR (°C)	Diferencia media mensual entre la temperatura máxima y la temperatura mínima	El rango entre la temperatura máxima y la temperatura mínima
13	FD (días)	Número de días al año cuando la temperatura mínima es menor al rango bajo de la temperatura mínima (equivalente al percentil 33)	Asociados al comportamiento de la temperatura mínima (temperatura en la noche)
14	ID (días)	Número de días al año cuando la temperatura mínima es mayor al rango alto de la temperatura mínima (equivalente al percentil 66)	
15	TN10P (días)	Noches frías: % de días con temperatura mínima menor al percentil 10	
16	TN90P (días)	Noches calientes: % de días con temperatura mínima mayor al percentil 90	
17	TR20 (días)	Noches calientes (2): Días al año cuando la temperatura mínima diaria es mayor a 20 °C	
18	TNN (°C)	Temperatura nocturna mínima: Valor mensual mínimo de la temperatura mínima diaria	
19	TNX (°C)	Temperatura nocturna máxima: Valor mensual máximo de la temperatura mínima diaria	
20	CSDI (días)	Conteo anual de días (por lo menos 6 días consecutivos) en que la temperatura mínima (TN) < percentil 10 (duración de periodos fríos)	Asociados al comportamiento de la temperatura máxima (temperatura en el día)
21	SU25 (días)	Días al año con temperaturas máximas mayores a 25 °C	
22	TR (días)	Número de días al año cuando la temperatura máxima es menor al rango bajo de la temperatura máxima (equivalente al percentil 33)	
23	TX10P (días)	Días fríos: % de días con temperatura máxima menor al percentil 10	
24	TX90P (días)	Días calientes: % de días con temperatura máxima mayor al percentil 90	
25	TXN (°C)	Temperatura diaria mínima: Valor mensual mínimo de la temperatura máxima diaria	
26	TXX (°C)	Temperatura diaria máxima: Valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria	
27	WSDI (días)	Conteo anual de días (por lo menos 6 días consecutivos) en que la temperatura máxima (TX) > percentil 90 (duración de periodos calientes)	

Fuente: Benavides et al. (2007).

Anexo 3. Estadísticos descriptivos de las series de temperatura máxima mensual (°C).

Estación	Mediana	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis	Kolmogorov-Smirnov	
						Sta.	Sig.
El Topacio	25.64	25.47	2.20	8.63	4.33	.155	.000
La Teresita	21.10	20.91	1.63	7.79	0.86	.092	.000
Univalle	29.49	29.38	1.93	6.58	17.08	.200	.000
Aeropuerto Bonilla Aragón	29.78	29.87	1.14	3.81	1.59	.075	.011
La Buitrera	26.23	26.39	1.23	4.65	-0.17	.077	.007
Jamundí	29.48	29.51	1.03	3.48	-0.23	.072	.016
Meléndez	29.60	29.77	0.96	3.24	0.22	.110	.000

Anexo 4. Estadísticos descriptivos de las series de temperatura mínima mensual (°C).

Estación	Mediana	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Curtosis	Kolmogorov-Smirnov	
						Sta.	Sig.
El Topacio	10.87	10.76	2.69	25.05	-0.73	.11	.00
La Teresita	12.94	13.00	0.63	4.82	2.52	.11	.00
Univalle	19.56	19.33	1.28	6.60	20.39	.23	.00
Aeropuerto Bonilla Aragón	18.85	18.91	0.60	3.16	6.70	.08	.00
La Buitrera	16.47	16.29	0.89	5.46	2.92	.12	.00
Jamundí	18.46	18.39	0.83	4.53	0.26	.06	.20
Meléndez	18.90	18.85	0.58	3.09	0.39	.09	.00

Anexo 5. Correlación de Pearson para las estaciones de precipitación.

Estación	Estaciones correlacionadas	Correlación	Estación	Estaciones correlacionadas	Correlación
Peña Mona	El Topacio	0.701	Planta Río Cali	Colegio San Juan Bosco	0.807
	San Antonio	0.741		Colegio San Luis	0.767
	San Vicente	0.745		Edificio CVC	0.792
El Palacio	Univalle	0.742	Brasilia	La Teresita	0.785
	El Topacio	0.795		Aguacatal	0.737
	San Vicente	0.759		Montebello	0.750
La Argentina	El Topacio	0.911	San Pablo	Aguacatal	0.754
	Alto Iglesias	0.796	La Teresita	Aguacatal	0.709
	San Vicente	0.793		Montebello	0.700
El Topacio	La Fonda	0.789	Dapa	Aguacatal	0.701
	Alto Iglesias	0.814		Montebello	0.735
	San Vicente	0.853		Villa Aracelly	0.764
Las Brisas	Cañaveralejo	0.817	San Antonio	Alto Iglesias	0.712
	Los Cristales	0.822		San Vicente	0.793
	La Fonda	0.856	Aguacatal	Montebello	0.739
Cañaveralejo	Los Cristales	0.784		Villa Aracelly	0.736
	La Fonda	0.798	Alto Iglesias	Colegio San Juan Bosco	0.750
	Alto Iglesias	0.786		Edificio CVC	0.774
Los Cristales	La Fonda	0.813	Colegio San Juan Bosco	Colegio San Luis	0.860
	Planta Río Cali	0.809		Edificio CVC	0.816
	Edificio CVC	0.809		Planta Río Cauca	0.801
La Fonda	Univalle	0.817	Colegio San Luis	Montebello	0.798
	Alto Iglesias	0.824		Planta Río Cauca	0.777
	Edificio CVC	0.812	Edificio CVC	Planta Río Cauca	0.764
Univalle	Planta Río Cali	0.743		San Vicente	0.717
	Alto Iglesias	0.778	Montebello	Villa Aracelly	0.726
	Edificio CVC	0.868			

Bibliografía

- Bedoya M; Contreras C; Ruiz F. 2010. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. En: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá D.C. p 282–319. Disponible en: <http://bit.ly/1UWX4B4>
- Benavides HO; Mayorga M, R; Hurtado M, G. 2007. Análisis de índices extremos climáticos para Colombia usando RClimDex. Nota técnica del IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá D.C., Colombia. 27 p. Disponible en: <http://bit.ly/1XY7P5x>
- Carvajal Y; Jiménez H; Urrego J. 2010. La información climatológica en la gestión integral del recurso hídrico en el occidente colombiano. Revista de Investigaciones UCM (15):31–40.
- Castañeda T, PM. 2014. Zonificación climática según el modelo Caldas – Lang de la cuenca río Negro mediante el uso de sistemas de información geográfica SIG. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://bit.ly/1LU4jYW>
- Castro LM; Carvajal E, Y. 2010. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (9):15–25. Disponible en: <http://bit.ly/1PABn2O>
- CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca); FUNAGUA (Fundación Agua viva). 2010. Aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar el análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca. Convenio No. 256 de 2009. Cali, Colombia. 237 p. Disponible en: <http://bit.ly/25sITJY>
- DAPM (Departamento Administrativo de Planeación Municipal). 2014. Revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali (POT). Documento técnico de soporte. Santiago de Cali, Colombia. Disponible en: <http://bit.ly/1ZeJUzM>
- González J. 1995. Evaluación de la red hidroclimatológica del departamento de Risaralda. Tesis de grado. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2005. Parte II: Distribución espacio-temporal de las variables del clima. En: Atlas climatológico de Colombia. p 77–78. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://bit.ly/1UpHeQB>
- Mesa OJ; Poveda G; Carvajal LF. 1997. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. p 48–93.
- Narváez G; León G. 2001. Caracterización y zonificación climática de la Región Andina. Meteorología Colombiana 4:121–126.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1994. Guía de prácticas hidrológicas: Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. 5a. ed. OMM No. 168. Ginebra, Suiza. 781 p.
- Poveda G; Jaramillo A; Gil MM; Quiceno N; Mantilla RI. 2001. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. Water Resources Research 37(8):2169–2178.
- Valencia SM. 2008. Caracterización climática de la cuenca hidrográfica del río Desbaratado localizado entre los departamentos del Cauca y Valle del Cauca Colombia, en un sistema de información geográfico, como material para la formulación de un plan de ordenamiento y manejo del río. Tesis MSc. en Sistemas de Información Geográfica. Universidad Politécnica de Catalunya, Fundación UPC, Barcelona España.

Diseño y diagramación:	Lorena García
Edición de producción:	Gladys Rodríguez
Fotografías portada y contraportada:	http://bit.ly/1KHPTzw http://bit.ly/1pGvegG http://bit.ly/1QSmCxD
Impresión:	Velásquez Digital S.A.S., Cali, Colombia 2015



Informes

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

www.cvc.gov.co

Teléfono: (57 2) 6206600 Ext. 1332 y 1325