



Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga
Foto de PNNC

Valle geográfico del río Cauca
Foto de internet

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE LAS TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA Y EL PACÍFICO VALLECAUCANO

Dirección Técnica Ambiental | Grupo de Recursos Hídricos

Diciembre de 2024

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE LAS TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA Y EL PACÍFICO VALLECAUCANO

Elaborado por:

JULIÁN DAVID MERA FRANCO

Ing. Sanitario y Ambiental
Contratista

CLAUDIA YISELLY SOTO CHÁVEZ

Ing. Agrícola | Esp. en Hidrología | MSc en Ingeniería – Recursos Hidráulicos
Profesional especializado



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
DIRECCIÓN TÉCNICA AMBIENTAL
GRUPO RECURSOS HÍDRICOS
SANTIAGO DE CALI
DICIEMBRE DE 2024

1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Consolidación de la información.....	6
2.1.1 Precipitación	6
2.1.2 Temperatura	7
2.2 Determinación de tendencias.....	8
2.3 Procesamiento y presentación de resultados	9
3. RESULTADOS	10
3.1 Zona de estudio.....	11
3.2 Precipitación	12
3.2.1 Series históricas de precipitación utilizadas	12
3.2.2 Comportamiento de la precipitación	13
3.2.3 Tendencias estaciones	15
3.2.4 Tendencias anuales.....	17
3.2.5 Tendencias trimestrales.....	19
3.2.6 Tendencias por mes	21
3.3 Temperatura	26
3.3.1 Series históricas de temperatura utilizadas.....	26
3.3.2 Comportamiento de la temperatura	26
3.3.3 Tendencias estaciones	28
3.3.4 Tendencias por mes	30
4. CONCLUSIONES.....	43
4.1 Precipitación	44
4.2 Temperatura	45
5. REFERENCIAS	46

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad y el cambio climático son fenómenos de creciente interés global debido a sus impactos generalizados sobre el ciclo hidrológico, los ecosistemas, las actividades socioeconómicas y el desarrollo sostenible regional (IPCC, 2021). En este contexto, la cuenca del río Cauca en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca (CRCCV), así como el Pacífico vallecaucano, conforman zonas estratégicas del suroccidente colombiano, reconocidas por su alta biodiversidad, abundancia de recursos hídricos y potencial agrícola, aspectos estrechamente relacionados con los patrones climáticos regionales (CVC et al., 2018).

Diversos estudios han documentado alteraciones en el comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura en estas regiones. Por ejemplo, CVC y Universidad del Valle (2008), con base en registros del periodo 1975–2006, identificaron tendencias al incremento en la precipitación mensual en los sectores noreste y suroeste de la CRCCV, y tendencias a la reducción hacia el sureste y noroeste. También se reportaron aumentos en la temperatura media del aire de hasta 0,4 °C por quinquenio. Más recientemente, el IDEAM (2017), en el Atlas Climatológico de Colombia, analizó el periodo 1981–2010 y observó una tendencia a la disminución de la precipitación anual en la CRCCV y al incremento en el Pacífico vallecaucano; asimismo, se identificaron tendencias al alza en las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Sin embargo, estos estudios presentan limitaciones que evidencian la necesidad de análisis actualizados y más específicos, que incorporen registros meteorológicos recientes y consideren en mayor profundidad las condiciones climáticas del Pacífico vallecaucano. Además, ambos trabajos se enfocaron en identificar la dirección de las tendencias sin examinar en detalle la magnitud ni la significancia estadística de los cambios, aspectos esenciales para la gestión del recurso hídrico y el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático.

En respuesta a estas necesidades, el presente estudio tiene como objetivo principal analizar las tendencias espaciotemporales de la precipitación y la temperatura en la CRCCV y el Pacífico vallecaucano, a partir de registros históricos actualizados hasta el año 2023. Se determinaron la dirección, magnitud y significancia estadística de las tendencias, así como las zonas y periodos críticos. Para ello, se aplicaron métodos estadísticos robustos, como las pruebas de Sen y Mann-Kendall, complementados con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitieron la espacialización de los resultados.

2. METODOLOGÍA

La metodología se estructuró en tres fases. La primera correspondió a la gestión, organización y depuración de la información, con el fin de consolidar las bases de datos de precipitación y temperatura para la cuenca del río Cauca, en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca, y el Pacífico vallecaucano. En la segunda fase se llevó a cabo el análisis de tendencias en las series históricas de precipitación y temperatura. Finalmente, en la tercera fase, los resultados obtenidos fueron procesados y organizados para su presentación mediante mapas, gráficos y tablas. A continuación, se describen en detalle las actividades realizadas en cada fase.

2.1 Consolidación de la información

2.1.1 Precipitación

Se consolidó una base de datos con registros mensuales de precipitación correspondientes a 136 estaciones para el periodo 1979–2023. Inicialmente, se recopilaban 486 series históricas disponibles en la base de datos de la Corporación. A continuación, se aplicó un primer filtro, seleccionando únicamente aquellas series continuas con al menos 20 años de información y datos disponibles hasta, por lo menos, el año 2008, lo que redujo el conjunto inicial a 218 estaciones.

La información recopilada fue organizada en Excel, dejando en blanco las celdas correspondientes a meses sin registro. Para definir un período común óptimo, se evaluaron múltiples alternativas con base en tres criterios principales: (i) la mayor extensión temporal posible, (ii) el porcentaje máximo admisible de datos faltantes y (iii) una adecuada representatividad espacial. Este análisis permitió seleccionar un subconjunto de 162 estaciones con un período común de 45 años (1979–2023) y un máximo del 40 % de datos faltantes.

Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio de calidad de datos, orientado a la detección de valores atípicos o erróneos, mediante el uso de estadísticos descriptivos (máximos, mínimos, promedios, desviación estándar y coeficiente de variación), diagramas de caja (box-plots) y gráficos de series temporales individuales, según la metodología propuesta por (Mabel Castro y Carvajal Escobar, 2010). Los datos atípicos fueron contrastados con registros de estaciones vecinas, considerando eventos históricos relevantes como El Niño y La Niña. Este proceso permitió depurar el conjunto a 158 estaciones.

La imputación de datos faltantes se realizó mediante redes neuronales artificiales, aplicando análisis de componentes principales no lineales, conforme a lo propuesto por Chanchala et al. (2019). Se ejecutaron 10 entrenamientos independientes de la red neuronal, cada uno con 10.000 iteraciones, seleccionando finalmente el modelo con mejor desempeño en función del porcentaje acumulado de varianza explicada por las cinco primeras componentes y el menor error cuadrático medio (RMSE) en la base reconstruida.

Una vez completado y depurado el conjunto de datos, se aplicó un último filtro para optimizar la distribución espacial, eliminando estaciones ubicadas en áreas con alta densidad y priorizando aquellas con menor proporción de datos imputados. La base final consolidada quedó conformada por 136 estaciones con registros mensuales de precipitación.

A partir de esta base consolidada se generaron tres conjuntos de información para el desarrollo de los análisis: **i)** precipitación total anual, **ii)** precipitación total trimestral según la estacionalidad regional (Puertas Orozco et al., 2011; Canchala et al., 2022) (dos períodos húmedos: marzo-mayo y septiembre-noviembre, y dos períodos secos: diciembre-febrero y junio-agosto), y **iii)** precipitación total mensual.

2.1.2 Temperatura

Para la variable de temperatura, se consolidaron inicialmente dos bases de datos con registros mensuales de temperatura mínima y máxima media, a partir de estaciones climatológicas operadas por la CVC y el IDEAM. La base de temperatura mínima incluyó 25 estaciones y la de temperatura máxima 26, con registros correspondientes al período 1990–2023.

En una primera etapa, se recopilaron y organizaron las series históricas disponibles, dejando en blanco las celdas correspondientes a meses con datos faltantes. Luego de evaluar distintas alternativas, se definió como período óptimo el intervalo 1990–2023, con base en la disponibilidad y calidad de la información. Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio de calidad mediante estadísticos descriptivos, diagramas de caja (box-plots) y gráficos de series temporales individuales, con el fin de identificar y eliminar registros atípicos o erróneos.

La imputación de datos faltantes se llevó a cabo utilizando una metodología basada en redes neuronales artificiales mediante análisis de componentes principales no lineales, conforme a lo propuesto por Canchala et al. (2019). Finalizado este proceso, se consolidaron las bases de datos definitivas, manteniéndose 25 estaciones para temperatura mínima media mensual y 26 para temperatura máxima media mensual.

A partir de estas bases consolidadas se generaron los conjuntos de información requeridos para el análisis, estructurados por mes calendario (enero a diciembre) para cada una de las dos variables de temperatura.

2.2 Determinación de tendencias

Una vez consolidadas y depuradas las bases de datos de precipitación y temperatura, se procedió al análisis de tendencias con el objetivo de identificar cambios significativos en el comportamiento climático de la cuenca del río Cauca, en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca, y del Pacífico vallecaucano.

Para la precipitación, se evaluaron las siguientes tendencias:

- **Tendencia estación:** se utilizó la serie histórica mensual de precipitación correspondiente al período 1979–2023, con el fin de identificar variaciones generales a lo largo del registro completo.
- **Tendencia anual:** se analizó la serie de precipitación total acumulada por año, permitiendo detectar posibles incrementos o disminuciones sostenidas a escala interanual.
- **Tendencia trimestral:** se evaluaron las series de precipitación acumulada para los trimestres marzo–abril–mayo, junio–julio–agosto, septiembre–octubre–noviembre y diciembre–enero–febrero, de acuerdo con los patrones estacionales característicos de la región.
- **Tendencia por mes:** se analizó la serie de precipitación total mensual para cada mes del año, con el propósito de identificar posibles cambios específicos en la distribución intraanual de la lluvia.

Para la temperatura, se consideraron las siguientes tendencias:

- **Tendencia estación:** se utilizaron las series mensuales de temperatura mínima y máxima media para el período 1990–2023, con el fin de observar la evolución general del comportamiento térmico a lo largo del tiempo.
- **Tendencia por mes:** se analizó la temperatura mínima y máxima media de cada mes del año, lo cual permitió detectar alteraciones específicas en los extremos térmicos mensuales.

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba no paramétrica de la pendiente de Sen (Sen, 1968), la cual permite estimar la magnitud y dirección de las tendencias sin asumir distribución normal de los datos. Adicionalmente, se utilizó la prueba de Mann-Kendall (Kendall, 1975), ampliamente reconocida por su eficacia en la detección de tendencias significativas en series temporales climáticas (Poveda et al., 2010; Cardona-Guerrero et al., 2014). Se adoptó un nivel de confianza del 90 % (valor- $p < 0,1$). La combinación de ambos métodos garantizó resultados estadísticamente robustos y confiables.

2.3 Procesamiento y presentación de resultados

Con el apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se generaron mapas temáticos que representan, de forma puntual, la magnitud y la significancia estadística de las tendencias identificadas en cada estación. Esta representación permitió ilustrar con precisión la distribución espacial de los cambios observados tanto en precipitación como en temperatura.

Adicionalmente, se identificaron áreas y períodos críticos, con el propósito de facilitar la interpretación de los resultados y orientar la toma de decisiones en materia de gestión del recurso hídrico y adaptación al cambio climático, tanto para usuarios internos como externos a la Corporación.

The background of the slide is a photograph of a river flowing through a dense tropical forest. The river is rocky, with many large boulders visible. The surrounding vegetation is lush and green, with various types of trees and plants. In the distance, a mountain peak is visible under a blue sky with some clouds. The overall scene is a natural, scenic view of a river in a forest.

3. RESULTADOS

3.1 Zona de estudio

El presente estudio se desarrolló en la cuenca del río Cauca en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca (CRCCV), así como en el Pacífico vallecaucano, abarcando un área aproximada de 28.115 km². De esta extensión, el 75 % corresponde al departamento del Valle del Cauca y el 25 % al departamento del Cauca. La zona de estudio está conformada por 30 subzonas hidrográficas, de las cuales 24 pertenecen a la vertiente del río Cauca y 6 a la vertiente del Pacífico. Esta región se caracteriza por una marcada variación altitudinal, que va desde los 0 m s. n. m. en el litoral Pacífico hasta los 4.675 m s. n. m. en la zona andina. En la Figura 1 se presentan los códigos y nombres correspondientes a cada una de las subzonas hidrográficas.

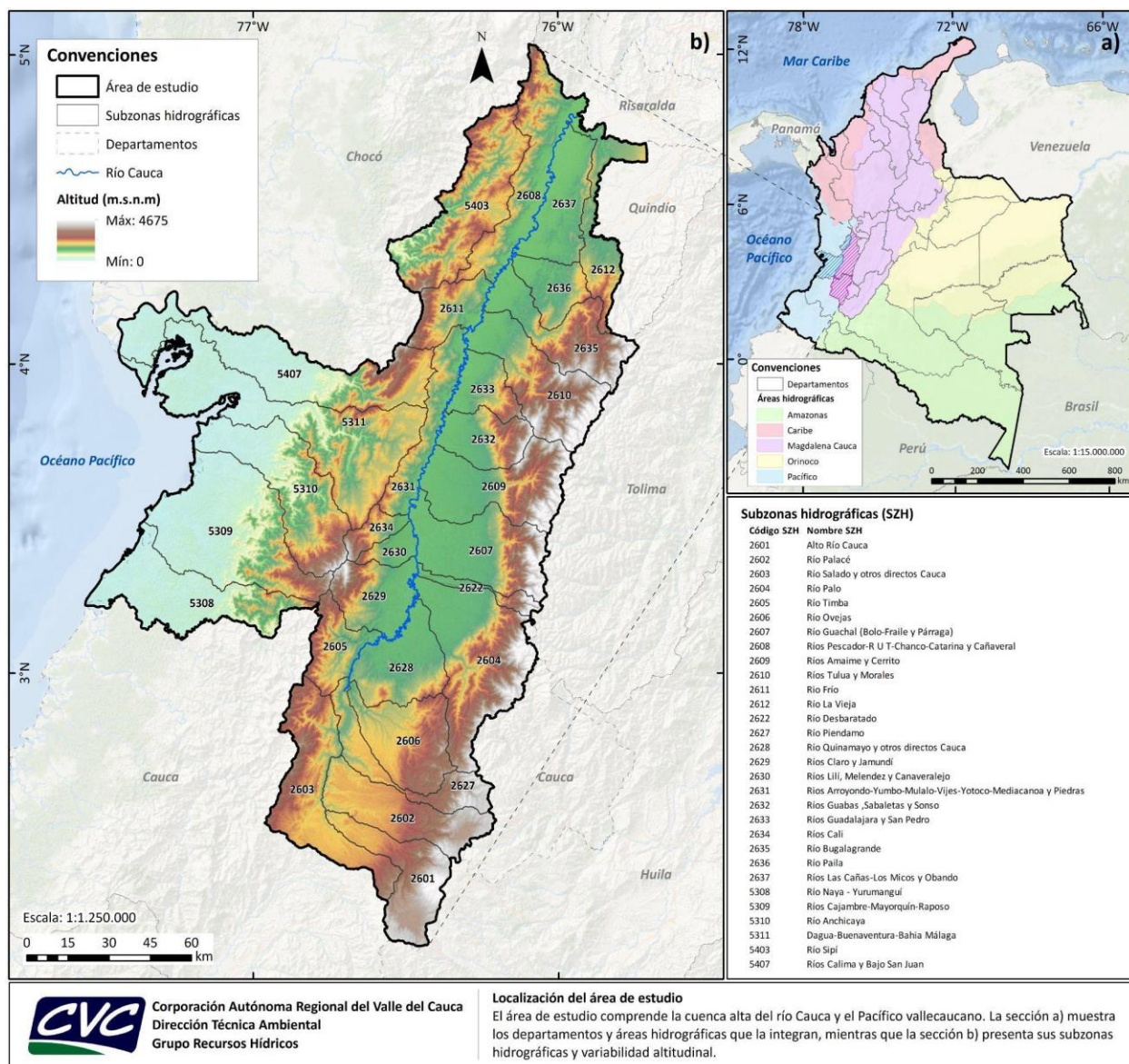


Figura 1. Localización del área de estudio.

3.2 Precipitación

3.2.1 Series históricas de precipitación utilizadas

En la Figura 2 se presenta la distribución espacial de las 136 estaciones utilizadas para el análisis de tendencias de precipitación durante el periodo 1979–2023. A cada estación se le asignó un identificador de tres letras basado en su nombre. Se evidencia una cobertura espacial desigual en el territorio: 11 estaciones se localizan en la zona del Pacífico, 27 en el departamento del Cauca y 98 en la zona andina del Valle del Cauca.

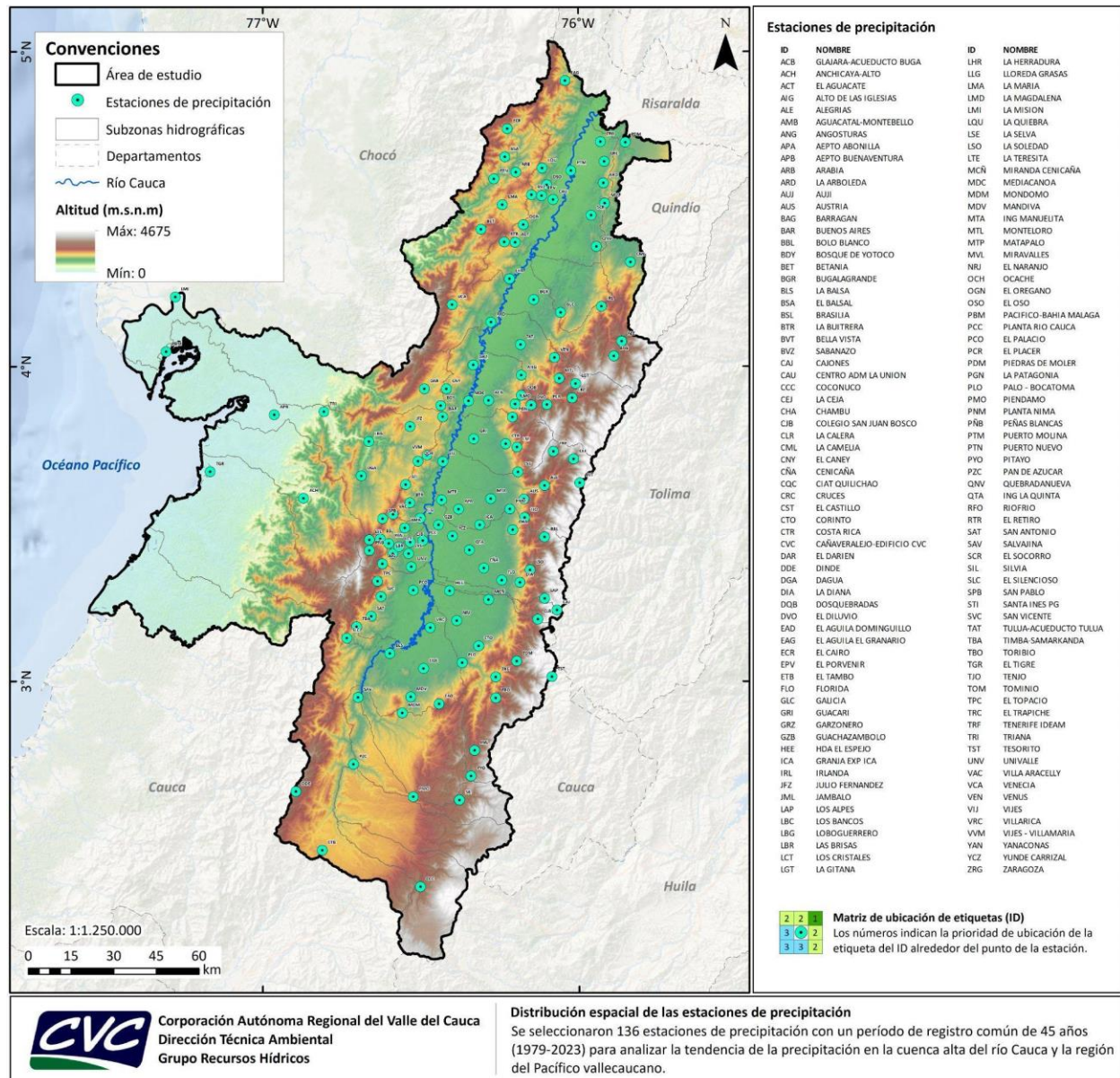


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones de precipitación

3.2.2 Comportamiento de la precipitación

El comportamiento anual de la precipitación en la cuenca del río Cauca presenta un patrón bimodal, caracterizado por dos trimestres lluviosos (septiembre–octubre–noviembre y marzo–abril–mayo) y dos trimestres secos (diciembre–enero–febrero y junio–julio–agosto). Este patrón cambia significativamente en el Pacífico vallecaucano, especialmente en la zona de llanura, donde se manifiesta un régimen monomodal con una temporada lluviosa prolongada entre mayo y diciembre, seguida de un periodo menos lluvioso entre enero y abril.

En la Figura 3 se muestra la distribución espacial de la precipitación media anual multianual, representada puntualmente en las estaciones, junto con el modelo de elevación digital (DEM), lo cual permite visualizar con claridad la variación altitudinal del territorio. Asimismo, se incluyen los ciclos anuales de estaciones seleccionadas estratégicamente para ilustrar las diferencias en el régimen pluviométrico a lo largo de la región. Este análisis evidencia la estrecha relación entre precipitación y altitud, directamente asociada a los distintos mecanismos de formación de lluvia presentes en la zona.

En la región predominan dos tipos principales de precipitación: orográfica y convectiva. La precipitación orográfica ocurre cuando las masas de aire húmedo ascienden al encontrarse con barreras montañosas, lo que provoca su enfriamiento y posterior condensación, generando lluvias intensas sobre las laderas de barlovento. Por su parte, la precipitación convectiva se presenta cuando el calentamiento de la superficie terrestre induce el ascenso rápido del aire húmedo; al enfriarse en altura, este se condensa y forma nubes de gran desarrollo vertical, las cuales producen lluvias intensas, generalmente de corta duración (Wallace y Hobbs, 2006).

Ambos mecanismos se ven intensificados por la alta disponibilidad de humedad en la región, lo que explica la notable variabilidad espacial de la precipitación. Además, factores como la dirección y velocidad del viento, la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el transporte de humedad a través del chorro del Chocó, y la orientación de las vertientes montañosas contribuyen a la complejidad climática del territorio (Poveda, 2004; Gonzales Lozano, 2014; Carvajal-Escobar et al., 2020). Estos elementos modulan la interacción entre la atmósfera y el relieve, determinando en gran medida la distribución espacial y temporal de la precipitación en función de la altitud.

Otro aspecto relevante es la influencia del denominado *óptimo pluviométrico*, que hace referencia a una altitud específica donde se alcanza el máximo de precipitación, disminuyendo hacia cotas superiores e inferiores (Mejía et al., 1999). Este fenómeno explica por qué en el valle geográfico del río Cauca las precipitaciones son significativamente menores que en las zonas de ladera. En efecto, se observa un cinturón bien definido de altas precipitaciones en la vertiente occidental de la cordillera Central y en la cordillera Occidental, especialmente en los alrededores del Parque Nacional Natural Farallones de Cali. Sin embargo, por encima del óptimo

pluviométrico, la precipitación disminuye considerablemente debido a la menor disponibilidad de humedad en elevaciones superiores.

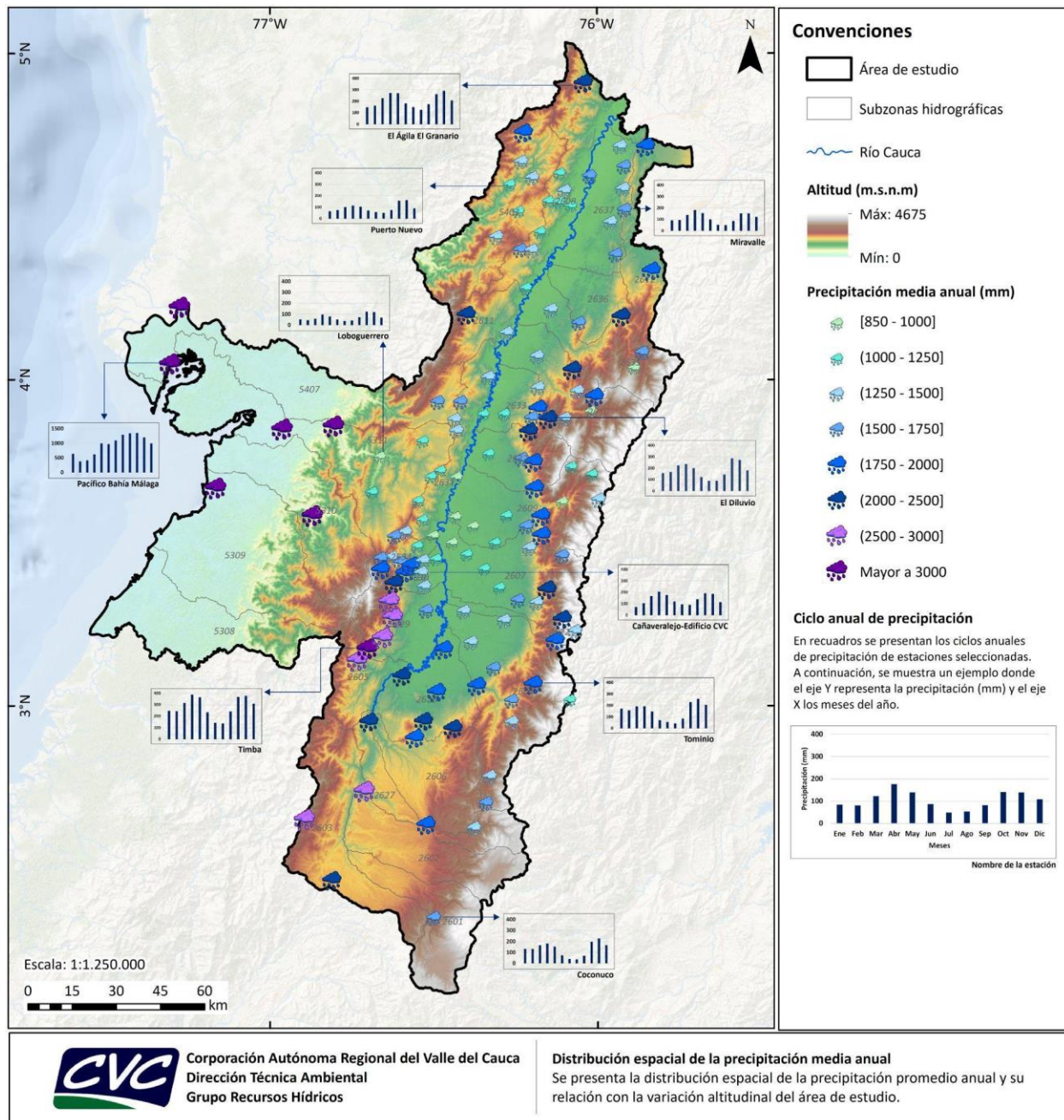


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación media anual

Desde una perspectiva regional, las mayores precipitaciones se concentran en la llanura del Pacífico vallecaucano, con promedios anuales que oscilan entre 3.000 y 11.000 mm/año. También se destacan las zonas cercanas al Parque Nacional Natural Farallones de Cali, con valores entre 2.000 y 3.000 mm/año, así como la vertiente occidental de la cordillera Central y el norte del departamento del Cauca, donde las precipitaciones anuales varían entre 1.000 y 3.000

mm/año. En contraste, las menores precipitaciones se registran en el valle geográfico del río Cauca, con valores promedio entre 850 y 2.500 mm/año.

3.2.3 Tendencias estaciones

En la Figura 4 se presentan las tendencias de la precipitación histórica mensual durante el período 1979–2023. Las tendencias estadísticamente significativas se representan mediante triángulos: de color azul cuando indican incrementos y de color rojo cuando reflejan reducciones. Por su parte, las tendencias no significativas se ilustran con círculos en color amarillo crema. Esta simbología se empleó de manera uniforme en todos los mapas de tendencias, tanto para precipitación como para temperatura.

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, las magnitudes de las tendencias significativas se expresan en unidades de milímetros por quinquenio (mm/5 años). De acuerdo con este análisis, se identificaron tendencias hacia el aumento de la precipitación mensual de hasta 20 mm/5 años en aproximadamente el 10 % de las 136 estaciones analizadas. En contraste, cerca del 20 % de las estaciones presentaron tendencias hacia la disminución, con magnitudes similares.

Desde el punto de vista espacial, las tendencias de reducción se concentran principalmente en la llanura del Pacífico, especialmente en las subzonas hidrográficas Dagua y en la parte alta de la subzona Calima–Bajo San Juan. Asimismo, se evidencian reducciones significativas en la cuenca del río Cauca, particularmente en las subzonas Alto río Cauca, Arroyohondo–Yumbo–Mulaló–Vijes–Yotoco–Mediacanoa–Piedras, Amaime–Cerrito y en la parte baja de la subzona Guadalajara–San Pedro. También se observaron disminuciones en las subzonas Sipí y Pescador–RUT–Chanco–Catarina–Cañaveral.

En contraste, las tendencias hacia el incremento de la precipitación mensual se localizaron principalmente en las subzonas hidrográficas Lili–Meléndez–Cañaveralejo y Cali. Igualmente, se identificaron aumentos significativos en las partes alta y media de las subzonas Guachal y Guadalajara–San Pedro, así como en las subzonas Las Cañas–Los Micos–Obando y La Vieja.

Estos resultados evidencian la marcada variabilidad espacial de las tendencias climáticas en la región, lo que sugiere dinámicas diferenciadas que deben ser tenidas en cuenta en la formulación de estrategias para la gestión del recurso hídrico y la adaptación al cambio climático.

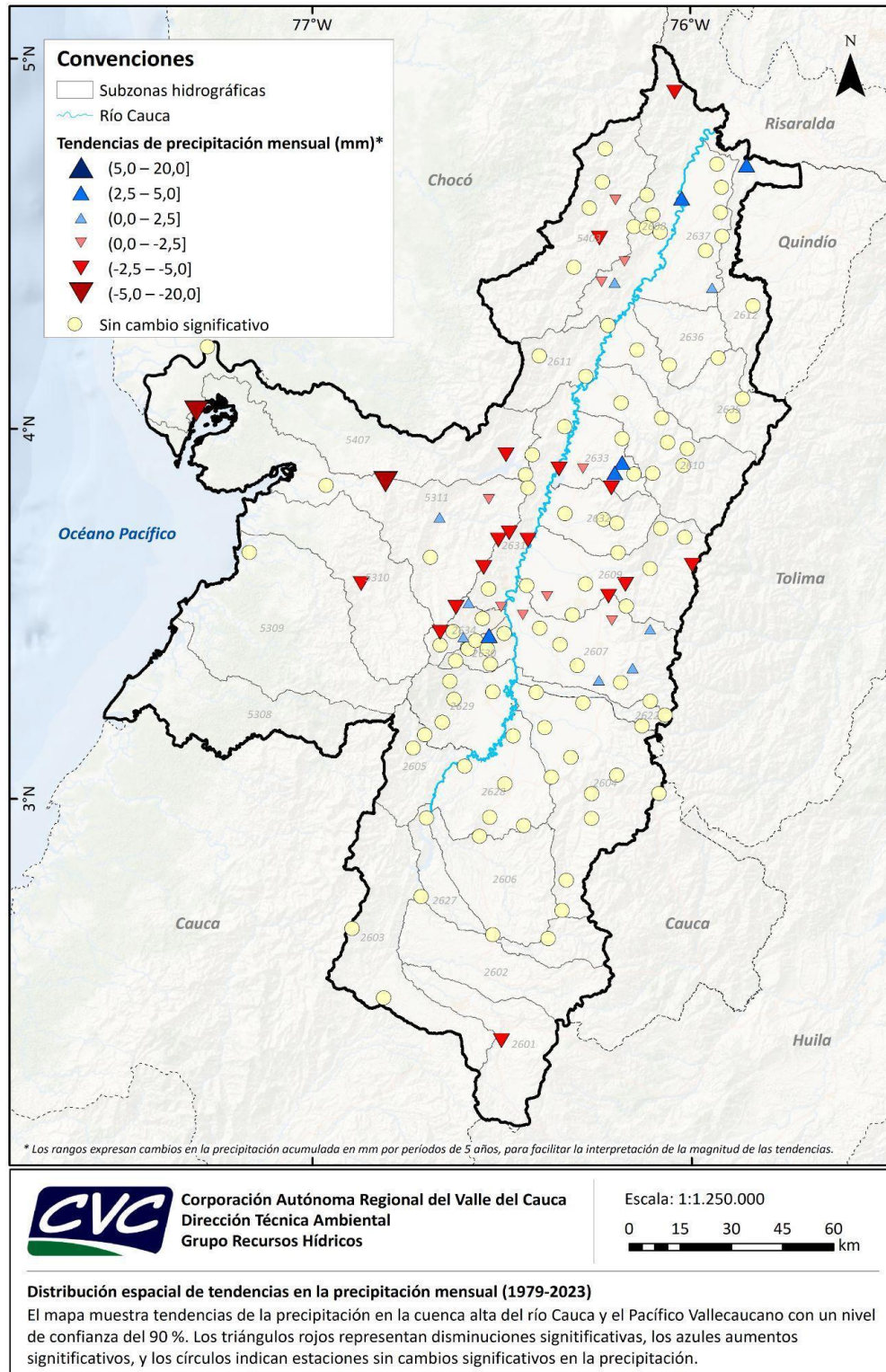


Figura 4. Distribución espacial de las tendencias de la precipitación histórica mensual (1979-2023)

3.2.4 Tendencias anuales

La Figura 5 presenta los resultados del análisis de tendencias de la precipitación anual para el período 1979–2023. Se identificaron tendencias hacia el incremento de hasta 15 mm/año en el 13 % de las 136 estaciones analizadas. Por otro lado, se observaron tendencias hacia la reducción con magnitudes mayores, alcanzando hasta 55 mm/año, también en el 13 % de las estaciones.

Las tendencias hacia el incremento se localizaron principalmente en la cuenca del río Cauca, destacándose las subzonas hidrográficas Las Cañas–Los Micos–Obando, La Vieja, Cali, Lili–Meléndez–Cañaveral, Guachal, Quinamayó y Otros directos al Cauca, así como en la zona alta de la subzona Bugalagrande. En esta misma cuenca también se identificaron tendencias hacia la reducción, con valores entre 5 y 15 mm/año, especialmente en las subzonas Arroyohondo–Yumbo–Mulaló–Vijes–Yotoco–Mediacanoa–Piedras, Alto río Cauca y en la parte alta de la subzona Amaime–Cerrito. Las mayores reducciones se registraron en el Pacífico vallecaucano, particularmente hacia el norte del litoral, en las inmediaciones de Bahía Málaga, con valores de hasta 55 mm/año.

Estos resultados anuales son coherentes con las proyecciones climáticas desarrolladas por el IDEAM para Colombia. En particular, las tendencias hacia el incremento observadas en el norte y sureste del Valle del Cauca, así como en el norte del Cauca, coinciden con los escenarios proyectados hacia finales del siglo XXI, los cuales estiman incrementos superiores al 40 % en la precipitación anual respecto al promedio del período de referencia 1976–2005. Además, las proyecciones del IDEAM para los años 2040, 2070 y 2100 indican un incremento generalizado de la precipitación anual del orden del 6 % para el Valle del Cauca y entre 16 % y 18 % para el departamento del Cauca, en comparación con dicho período base.

Estos hallazgos resaltan la importancia de contar con estudios regionales que permitan complementar y contrastar los resultados obtenidos a escala nacional. Asimismo, evidencian la necesidad de considerar la variabilidad espacial de las tendencias al momento de planificar y gestionar el recurso hídrico, y de formular estrategias de adaptación al cambio climático que respondan a las particularidades del territorio.

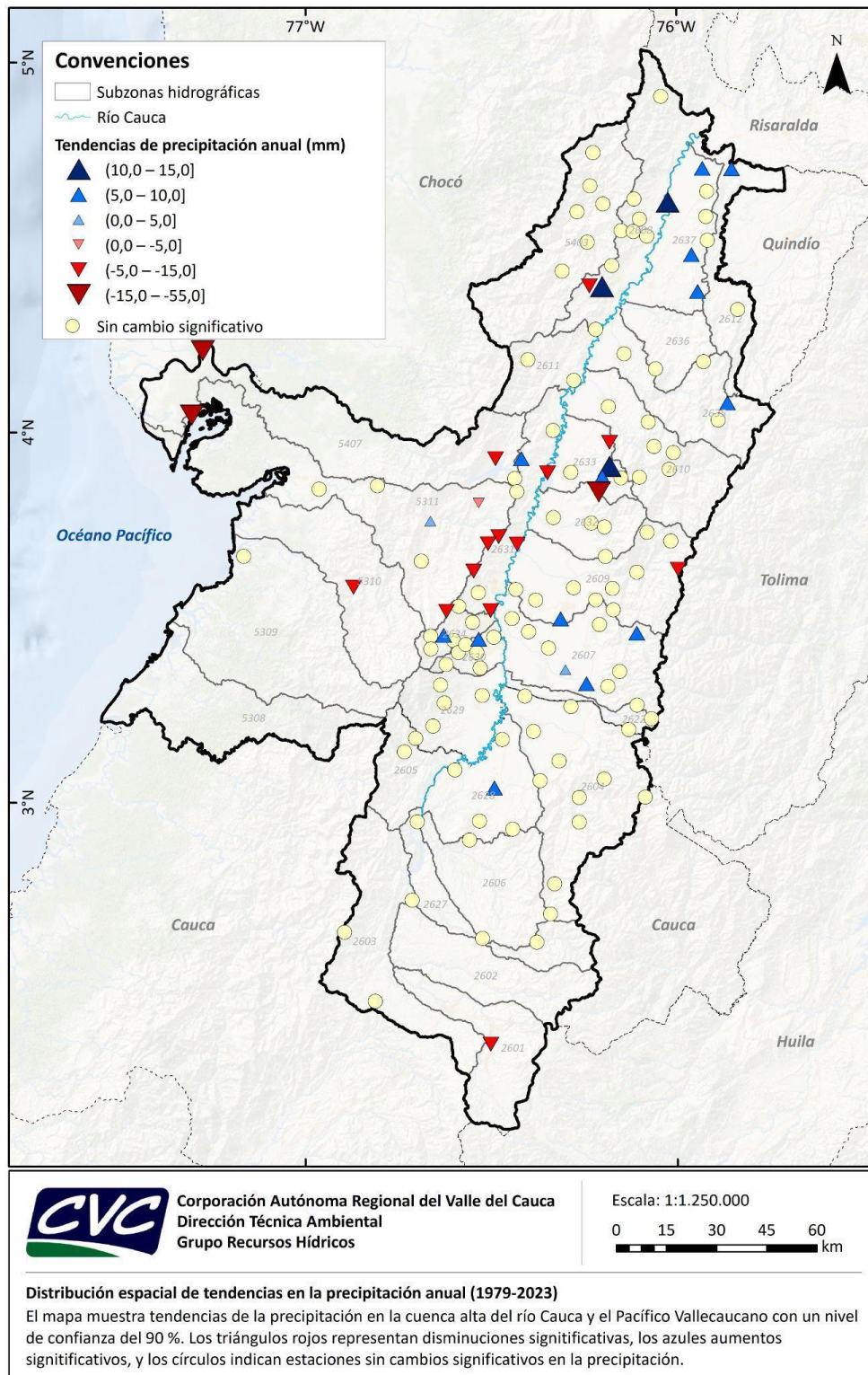


Figura 5. Distribución espacial de las tendencias de la precipitación anual (1979-2023)

3.2.5 Tendencias trimestrales

La Figura 6 presenta las tendencias de precipitación correspondientes a los cuatro trimestres del año, definidos según el régimen bimodal característico de la cuenca del río Cauca: diciembre–enero–febrero, marzo–abril–mayo, junio–julio–agosto y septiembre–octubre–noviembre. Es importante señalar que esta división trimestral no aplica para la región del Pacífico vallecaucano, donde predomina un régimen monomodal de precipitación, caracterizado por una temporada lluviosa continua y sin una diferenciación marcada entre trimestres secos y lluviosos.

Durante el trimestre marzo–abril–mayo se identificaron tendencias hacia el incremento de la precipitación en el 17 % de las estaciones analizadas, con valores que alcanzaron hasta 25 mm/año. Por otro lado, las tendencias hacia la reducción fueron más marcadas durante el trimestre septiembre–octubre–noviembre, alcanzando hasta 20 mm/año en el 18 % de las estaciones estudiadas.

Es importante aclarar que, aunque las tendencias fueron evaluadas para cada trimestre del año, los valores obtenidos se expresan en milímetros por año (mm/año). Esto se debe a que, para cada estación, se construyó una serie temporal anual utilizando los valores de precipitación acumulada por trimestre entre 1979 y 2023. Es decir, cada serie contiene un único dato por año para cada trimestre. Por tanto, la pendiente estimada representa el cambio anual en la precipitación acumulada durante ese trimestre específico, razón por la cual su unidad es mm/año.

Las tendencias hacia el incremento registradas durante el trimestre marzo–abril–mayo en estaciones ubicadas en la cuenca del río Cauca podrían estar indicando una intensificación de la primera temporada lluviosa del año. Esta situación implicaría un aumento en las amenazas hidrometeorológicas, incrementando el riesgo para las poblaciones vulnerables a eventos de origen climático. En contraste, las tendencias generalizadas hacia la reducción de la precipitación durante el trimestre septiembre–octubre–noviembre podrían estar asociadas a un posible alargamiento del segundo trimestre seco del año en esta misma cuenca. Esta condición podría ejercer una mayor presión sobre los recursos hídricos regionales y, adicionalmente, atenuar la magnitud de las precipitaciones en el periodo más lluvioso del litoral Pacífico vallecaucano.

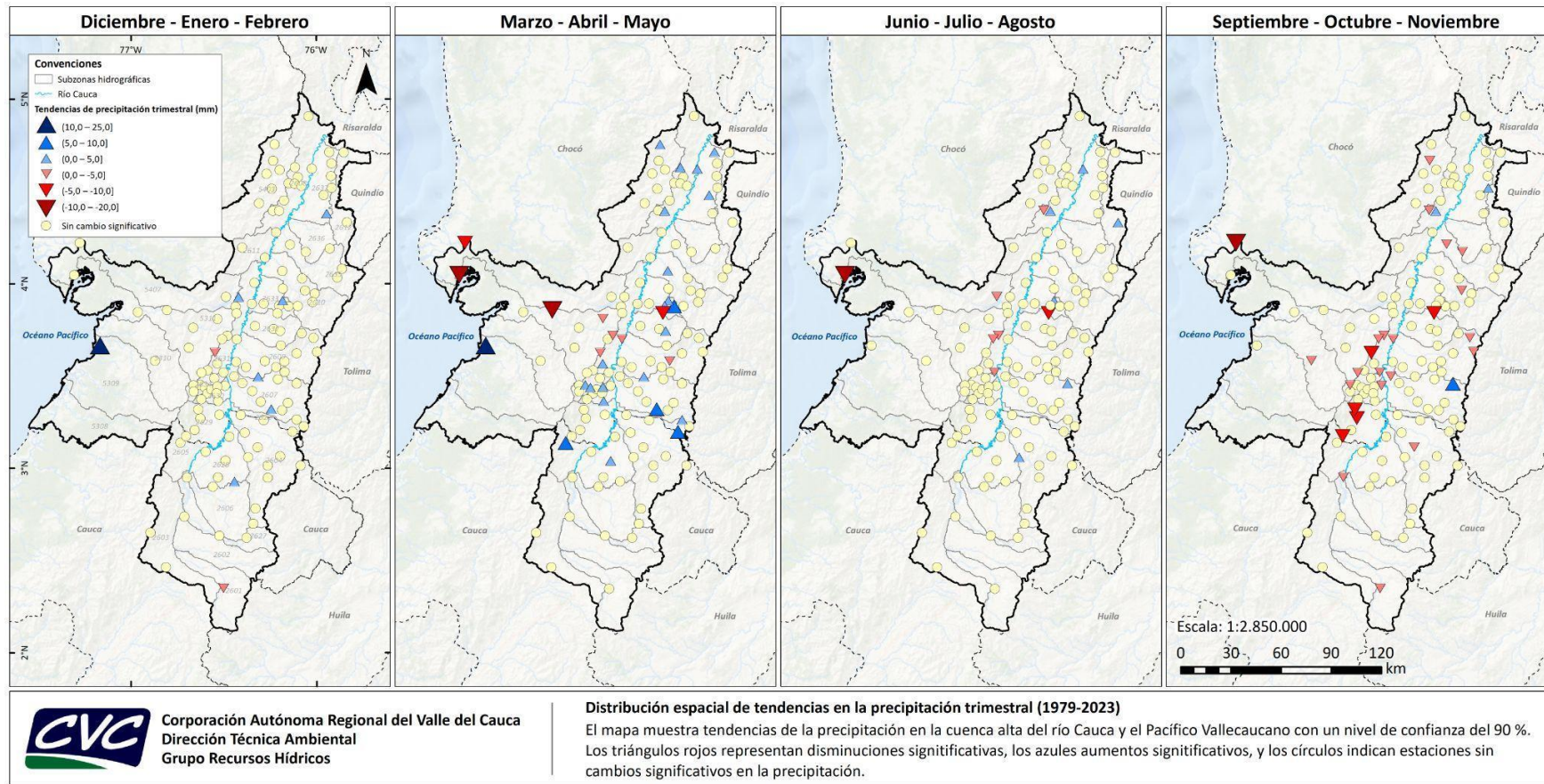


Figura 6. Distribución espacial de las tendencias de la precipitación trimestral (1979-2023)

3.2.6 Tendencias por mes

Las Figuras 7 a 9 muestran las tendencias de la precipitación por mes durante el período 1979–2023. Las tendencias estadísticamente significativas revelan incrementos de hasta 25 mm/año y reducciones de hasta 20 mm/año.

Es importante aclarar que, aunque las tendencias se evaluaron para cada mes del año por separado, los valores obtenidos se expresan en milímetros por año (mm/año). Esto se debe a que, para cada estación, se construyó una serie temporal con los valores de precipitación registrados en un mismo mes a lo largo de los años (por ejemplo, todos los enero entre 1979 y 2023, luego todos los febreros, y así sucesivamente). Así, cada serie contiene un dato por año para ese mes específico. Por esta razón, la pendiente calculada indica cuánto cambia, en promedio, la precipitación de ese mes cada año, y no dentro del mes mismo. Por tanto, la unidad mm/año refleja el ritmo de cambio anual en la precipitación de ese mes en particular.

Enero se caracteriza por la estabilidad en el comportamiento de la precipitación, con el 98 % de las 136 estaciones sin tendencias significativas. En febrero se identificaron tendencias hacia el incremento en el 9 % de las estaciones, localizadas principalmente en el norte del Cauca y en las zonas sureste y occidental de la región andina del Valle del Cauca.

Marzo presenta el mayor número de estaciones con tendencias hacia el incremento (30 %), distribuidas a lo largo de la cuenca del río Cauca. Este comportamiento coincide con el inicio de la primera temporada lluviosa del año, reforzando la posible intensificación detectada en el análisis trimestral. Esta condición sugiere un aumento potencial en el riesgo asociado a fenómenos hidrometeorológicos por exceso de precipitación.

En abril, el patrón se invierte, con predominio de tendencias hacia la reducción en el 11 % de las estaciones, especialmente en el litoral Pacífico, el centro-sur del Valle del Cauca, el norte del Cauca y en la zona cercana al nacimiento del río Cauca. Esta reducción continúa durante mayo, afectando al 15 % de las estaciones analizadas.

Los meses de junio, julio y agosto no presentan cambios relevantes en la precipitación, con más del 92 % de las estaciones sin tendencias significativas.

En septiembre se observa el mayor porcentaje de estaciones con tendencias hacia la reducción (38 %), distribuidas en todo el territorio. Estas reducciones refuerzan la hipótesis de un posible alargamiento del segundo periodo seco del año, como se planteó en el análisis trimestral. Esta condición podría incrementar la presión sobre los recursos hídricos y generar impactos en sectores como la agricultura y los servicios públicos de agua y energía.

Durante octubre, las tendencias hacia la reducción persisten en el 11 % de las estaciones, concentrándose en las inmediaciones del nacimiento del río Cauca, así como en el suroeste y el este de la región andina vallecaucana. En noviembre, el comportamiento se revierte, observándose tendencias hacia el incremento en el 9 % de las estaciones, ubicadas principalmente en el noreste del Cauca y en la zona centro y noreste del Valle del Cauca.

Finalmente, en diciembre prevalece nuevamente la estabilidad, sin tendencias significativas en el 94 % de las estaciones analizadas.

En términos generales, los resultados obtenidos en el análisis mensual son consistentes con los patrones observados en la escala trimestral, destacándose mayores cambios durante los meses asociados a las temporadas lluviosas y una menor variabilidad en los meses secos.

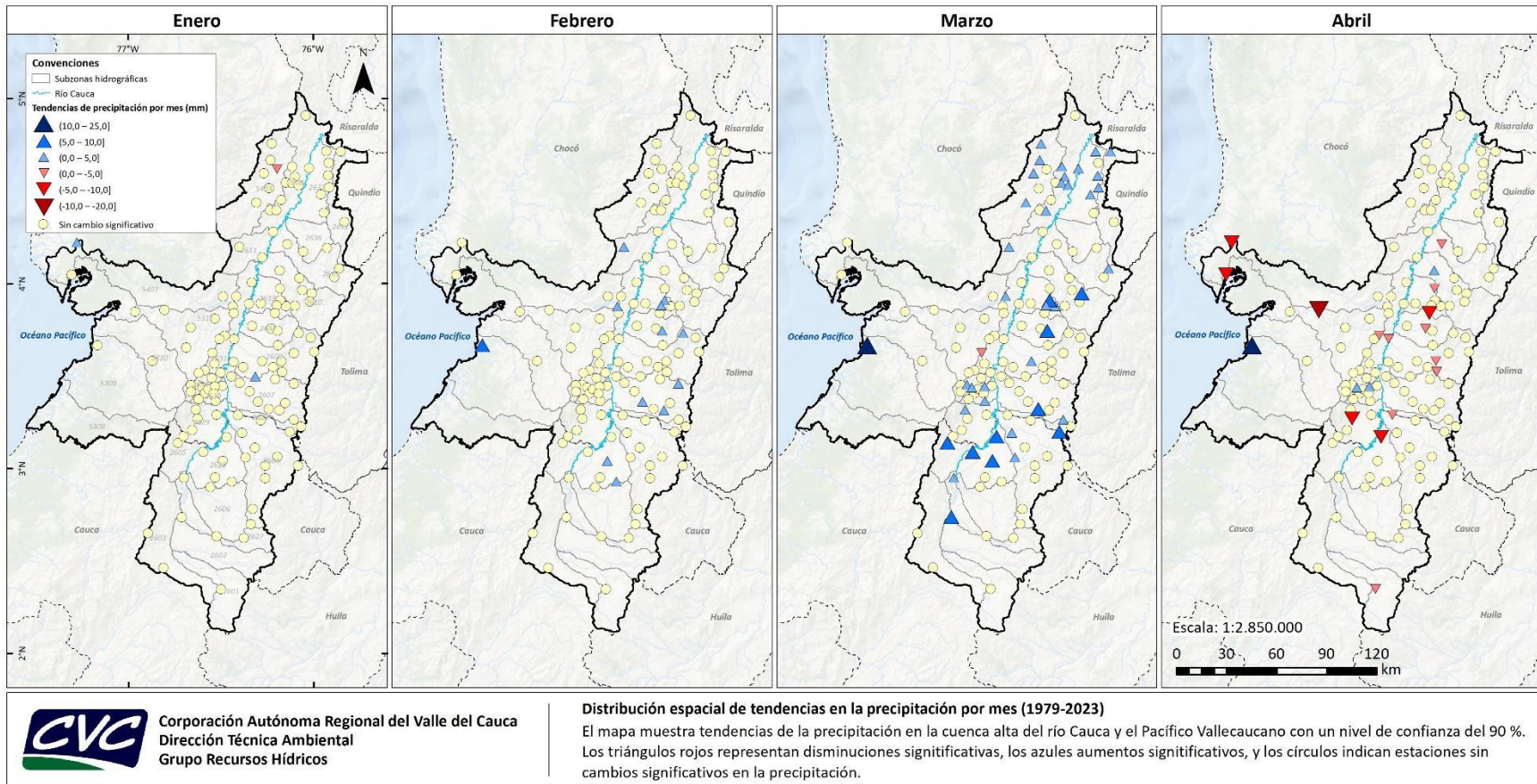


Figura 7. Distribución espacial de las tendencias de precipitación para los meses de enero, febrero, marzo y abril (1979-2023)

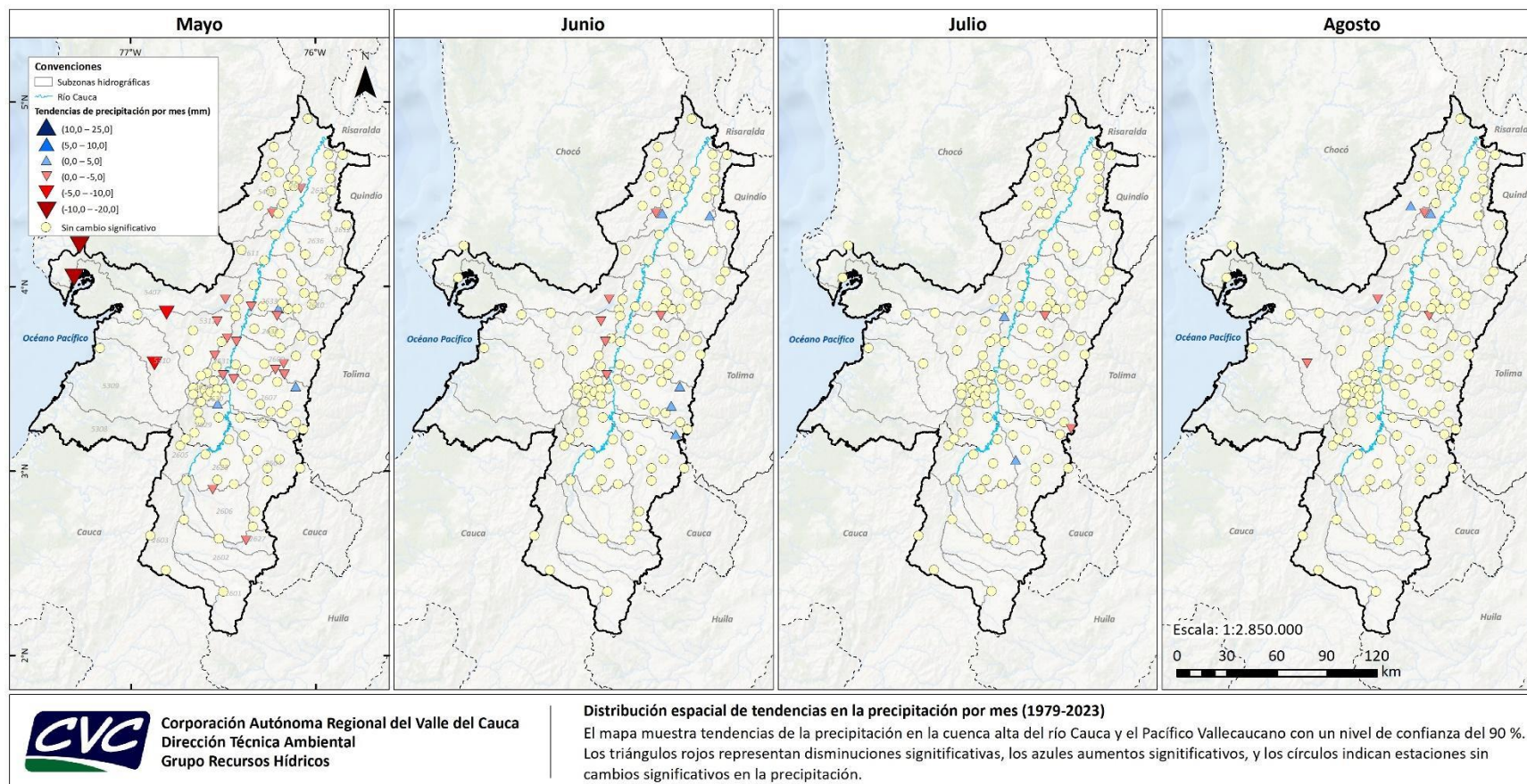


Figura 8. Distribución espacial de las tendencias de precipitación para los meses de mayo, junio, julio y agosto (1979-2023)

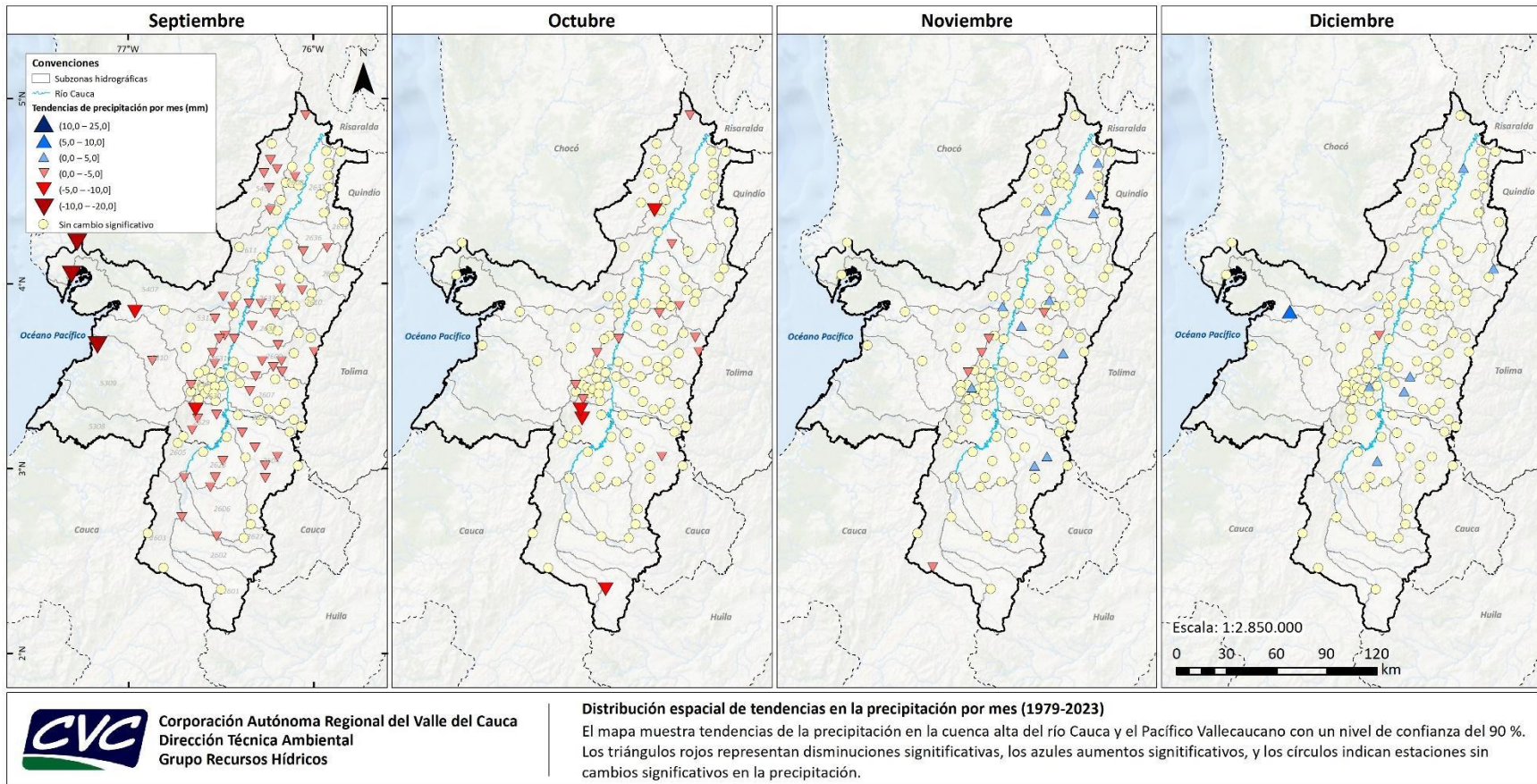
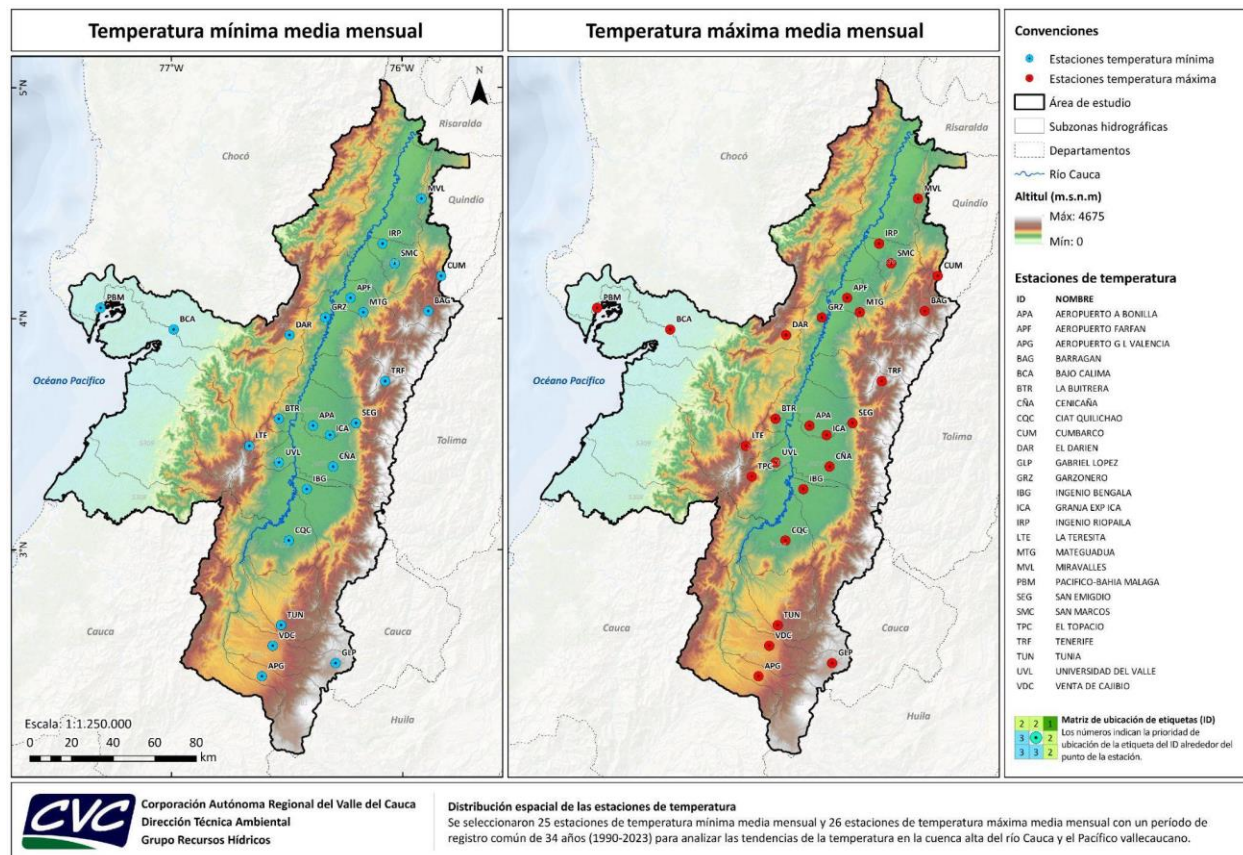


Figura 9. Distribución espacial de las tendencias de precipitación para los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre (1979-2023)

3.3 Temperatura

3.3.1 Series históricas de temperatura utilizadas

La Figura 10 muestra la distribución espacial de las estaciones con registros históricos de temperatura mínima y máxima media mensual disponibles para el período 1990–2023. En total, se analizaron 25 estaciones con datos de temperatura mínima y 26 estaciones con datos de temperatura máxima.



marcada por períodos húmedos y secos. Este comportamiento contrasta con el observado en regiones situadas más al norte o al sur, donde la temperatura presenta variaciones estacionales significativas (estacionalidad térmica), reflejadas en las estaciones de otoño, invierno, primavera y verano (Díaz, 2006).

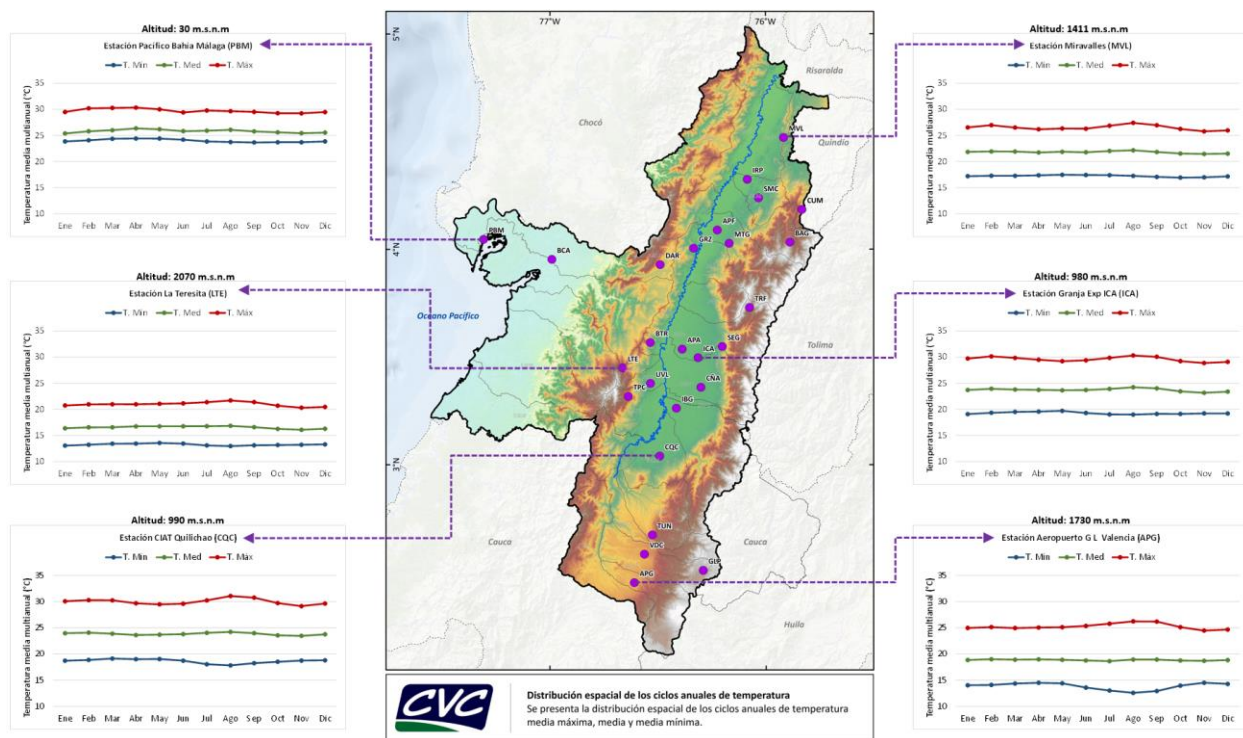


Figura 11. Distribución espacial de los ciclos anuales de temperatura mínima, media y máxima

La menor variabilidad térmica en regiones ecuatoriales se explica por la exposición relativamente constante a la radiación solar a lo largo del año. La Figura 11 presenta los ciclos anuales multianuales de temperatura mínima, media y máxima mensual en varias estaciones del área de estudio. La información evidencia una relación inversa bien definida entre la temperatura y la altitud, atribuida a la disminución de la presión atmosférica y a la menor capacidad del aire para retener calor a medida que aumenta la elevación. Por esta razón, las estaciones ubicadas en zonas de mayor altitud registran temperaturas considerablemente más bajas en comparación con aquellas localizadas a menor altitud. Por ejemplo, la estación Pacífico Bahía Málaga, situada a 30 m s. n. m., presenta temperaturas medias mensuales entre 24 °C y 30 °C a lo largo del año, mientras que la estación La Teresita, ubicada a 2070 m s. n. m., registra valores significativamente más bajos, que oscilan entre 12 °C y 22 °C.

Adicionalmente, los ciclos anuales de las estaciones ubicadas en la cuenca del río Cauca evidencian un patrón particular durante el mes de agosto. En este mes se observa un leve incremento en la temperatura máxima junto con una ligera reducción en la temperatura mínima,

lo que da lugar a una mayor amplitud térmica diaria, es decir, días más cálidos y noches más frías. Este comportamiento se relaciona con el hecho de que agosto corresponde al mes más seco del año en la región, caracterizado por una disminución en la precipitación, menor humedad relativa y baja cobertura nubosa. La escasa nubosidad permite una mayor incidencia de radiación solar durante el día, favoreciendo el incremento de la temperatura máxima. Por el contrario, durante la noche, la menor humedad atmosférica y la ausencia de nubes reducen la capacidad de la atmósfera para retener calor, lo que favorece un enfriamiento más rápido y temperaturas mínimas más bajas (Barry y Chorley, 2003). Este fenómeno genera un contraste térmico diario más pronunciado en comparación con otros meses del año.

3.3.3 Tendencias estaciones

La Figura 12 presenta las tendencias identificadas en las temperaturas mínima y máxima medias mensuales para el período 1990–2023. Las magnitudes de las tendencias se expresan en grados Celsius por quinquenio ($^{\circ}\text{C}/5$ años), lo cual facilita su comparación e interpretación. El análisis evidenció tendencias hacia el incremento de la temperatura mínima en el 76 % de las estaciones, y de la temperatura máxima en el 58 % de las estaciones, con valores que alcanzan hasta $0,3^{\circ}\text{C}/5$ años.

Estas tendencias son consistentes con los patrones de calentamiento reportados en estudios regionales, nacionales y globales, y reflejan los efectos del aumento sostenido en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, fenómeno que se ha intensificado desde la revolución industrial (IPCC, 2021; IDEAM et al., 2017).

Adicionalmente, se identificaron tendencias hacia la reducción en un número reducido de estaciones: en el 8 % para la temperatura mínima y en el 4 % para la temperatura máxima. Estas reducciones se consideran atípicas, ya que ocurren de forma aislada en un contexto generalizado de incremento. Este comportamiento podría estar asociado a errores sistemáticos o inconsistencias en los registros históricos, tales como cambios en la ubicación de las estaciones, alteraciones en el entorno inmediato, problemas de calibración o fallas en los instrumentos de medición (OMM, 2003).

En consecuencia, se recomienda realizar una revisión más detallada de estas estaciones con el fin de validar la fiabilidad de los datos y asegurar la calidad de los resultados reportados.

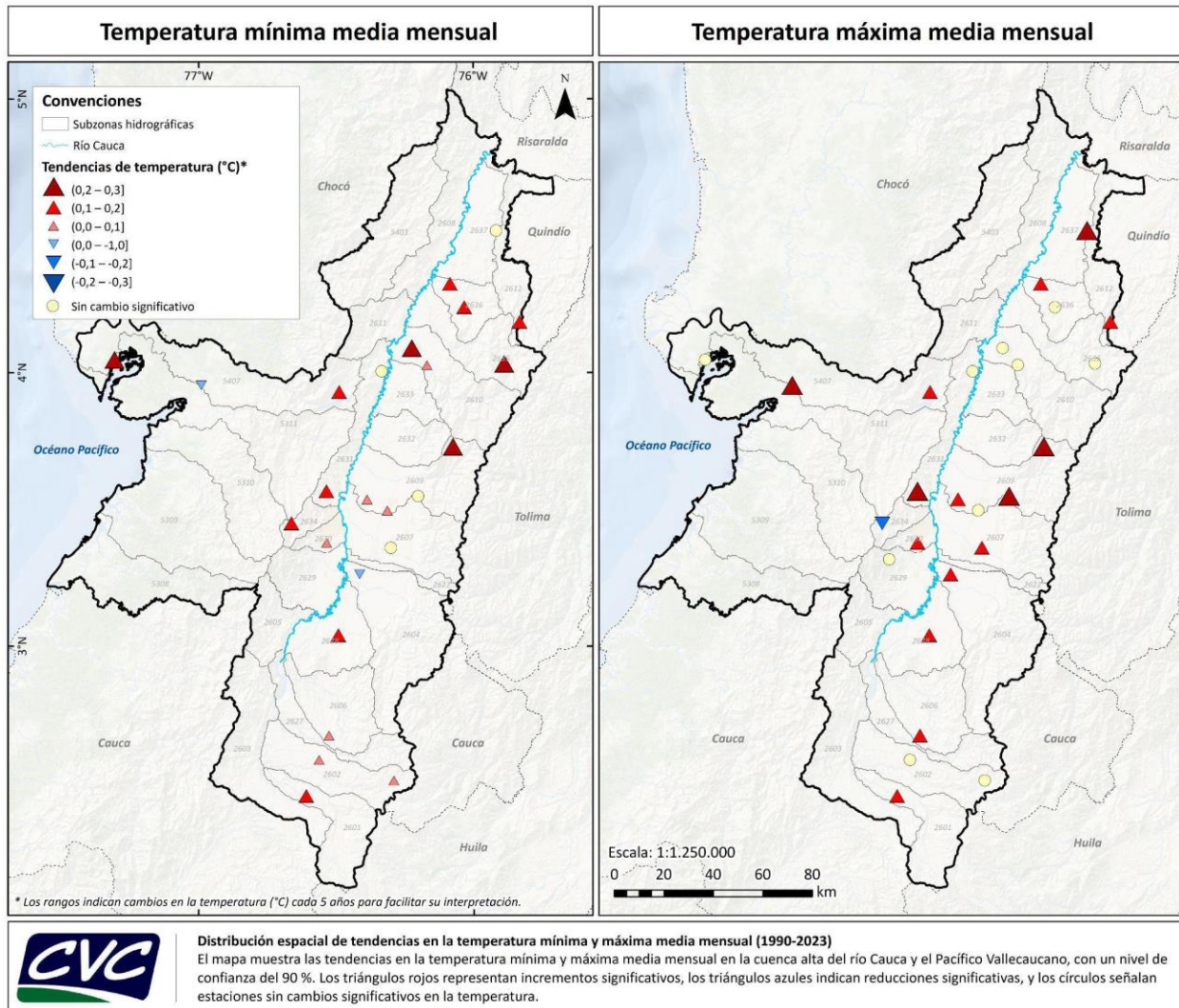


Figura 12. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media histórica mensual (1990-2023)

3.3.4 Tendencias por mes

Las Figuras 13 a 24 presentan las tendencias de la temperatura mínima y máxima media mensual, mes a mes (enero a diciembre), para el período 1990–2023. Se identificaron incrementos de hasta 0,1 °C/año en la temperatura mínima media en el 72 % de las estaciones y en la temperatura máxima media en el 54 % de las estaciones.

Es importante aclarar que, aunque las tendencias se evaluaron para cada mes por separado, los resultados se expresan en grados Celsius por año (°C/año). Esto se debe a que, para cada mes del año, se construyó una serie temporal a partir de los valores registrados anualmente entre 1990 y 2023. Es decir, cada serie contiene un único dato por año correspondiente a un mismo mes (por ejemplo, todos los enero de 1990 a 2023). Por tanto, la pendiente calculada representa el cambio anual en la temperatura mínima o máxima media de ese mes en particular, lo cual justifica el uso de la unidad °C/año.

Los meses con mayor proporción de estaciones afectadas por incrementos en la temperatura mínima media (más del 50 %) fueron julio, octubre y noviembre. En el caso de la temperatura máxima media, los meses con mayor número de estaciones con tendencias hacia el incremento fueron mayo, julio y octubre.

En cuanto a la distribución espacial, las zonas que registraron incrementos en la temperatura mínima media durante más de seis meses del año incluyen el norte del Cauca, la llanura del Pacífico, los alrededores del Parque Nacional Natural Farallones de Cali y la región centro-este de la zona andina vallecaucana. Por su parte, las tendencias hacia el incremento en la temperatura máxima media se concentraron en la llanura del Pacífico, la zona cercana al nacimiento del río Cauca, el sur del valle geográfico del río Cauca y el norte y este del departamento del Valle del Cauca.

El incremento en la temperatura mínima media suele asociarse a la acumulación de humedad y nubosidad durante la noche, lo que reduce la pérdida de calor superficial y eleva los valores mínimos (IPCC, 2021; IDEAM et al., 2017). Por otro lado, el incremento en la temperatura máxima puede explicarse por cambios en el uso del suelo, como la reducción de cobertura vegetal, y por la expansión urbana y agrícola, factores que incrementan la absorción de radiación solar y disminuyen la capacidad de enfriamiento superficial (Oke, 1987; IPCC, 2019)

Estas dinámicas locales y regionales se ven reforzadas por el calentamiento global, lo que evidencia la necesidad de analizar con mayor profundidad los procesos de adaptación y mitigación según las particularidades climáticas, ecológicas y territoriales de cada zona.

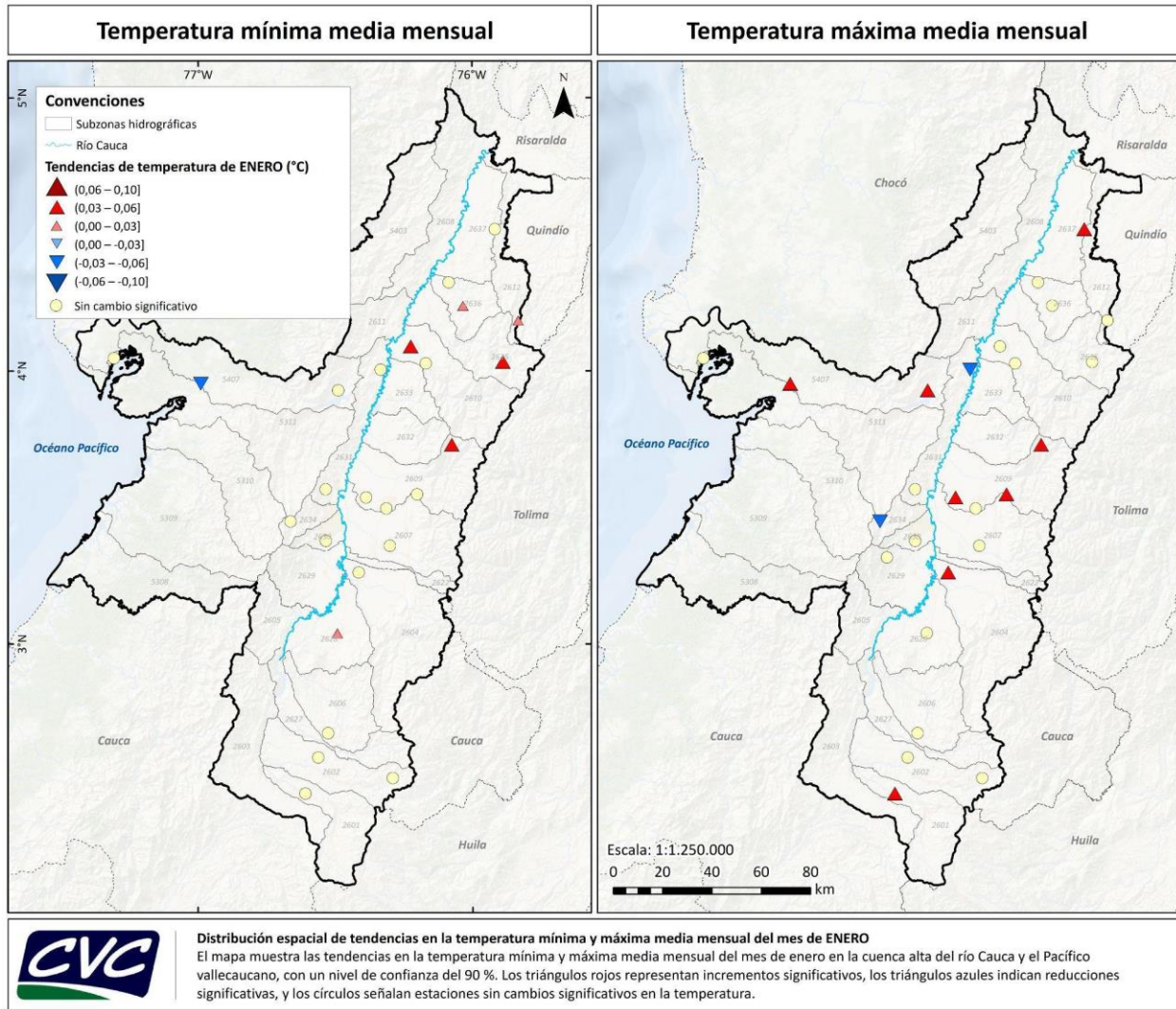


Figura 13. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de enero (1990-2023)

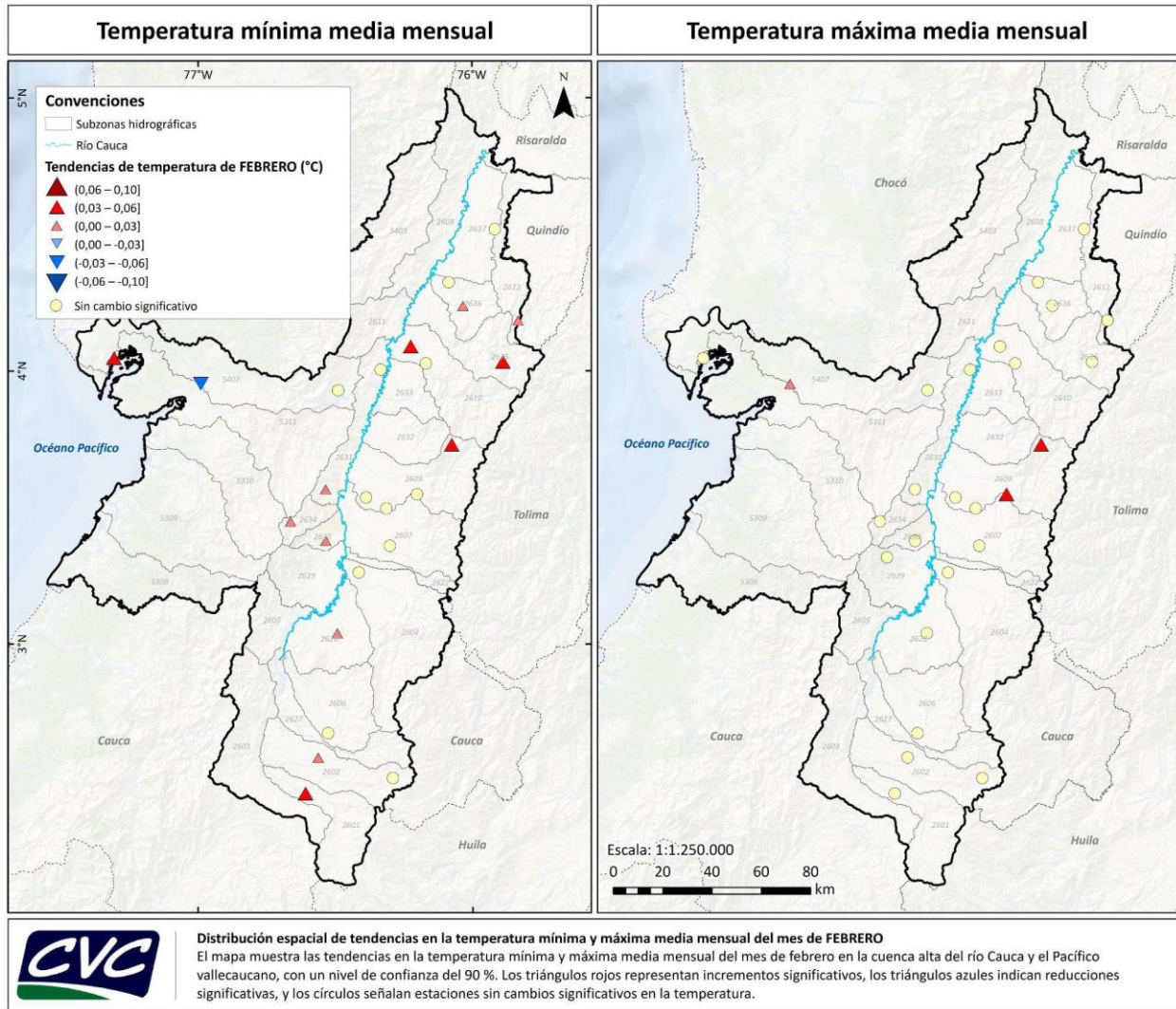


Figura 14. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de febrero (1990-2023)

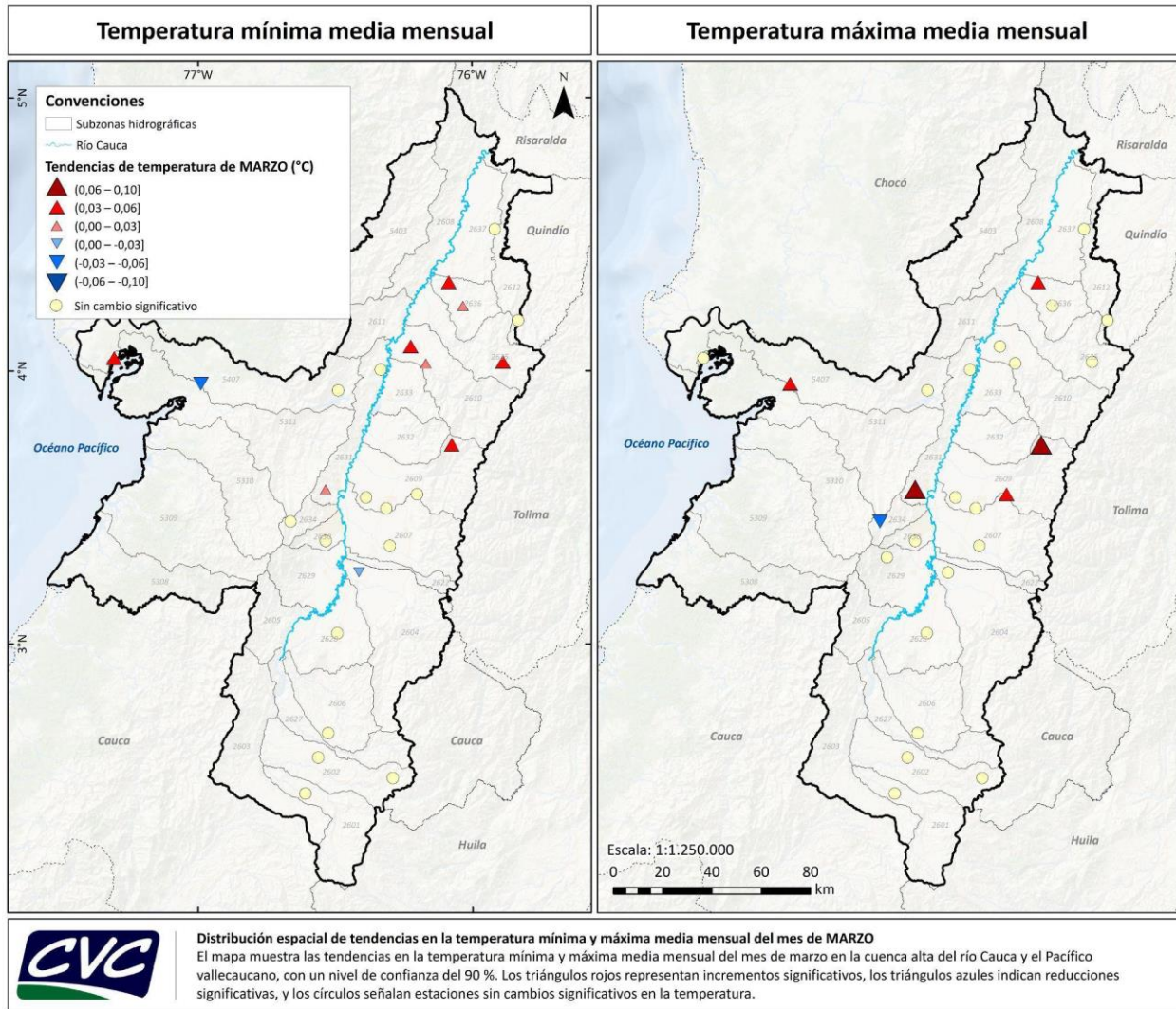


Figura 15. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de marzo (1990-2023)

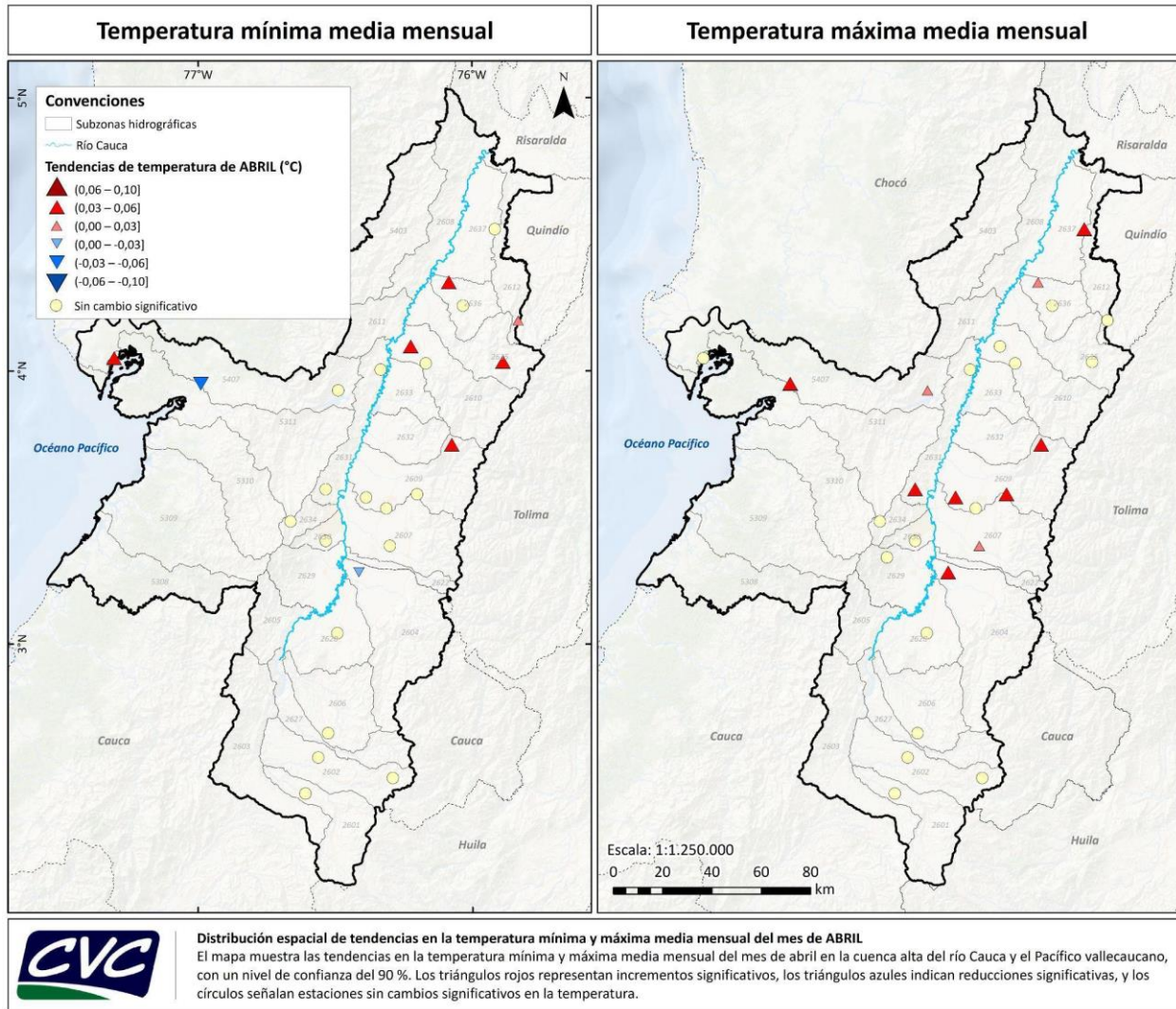


Figura 16. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de abril (1990-2023)

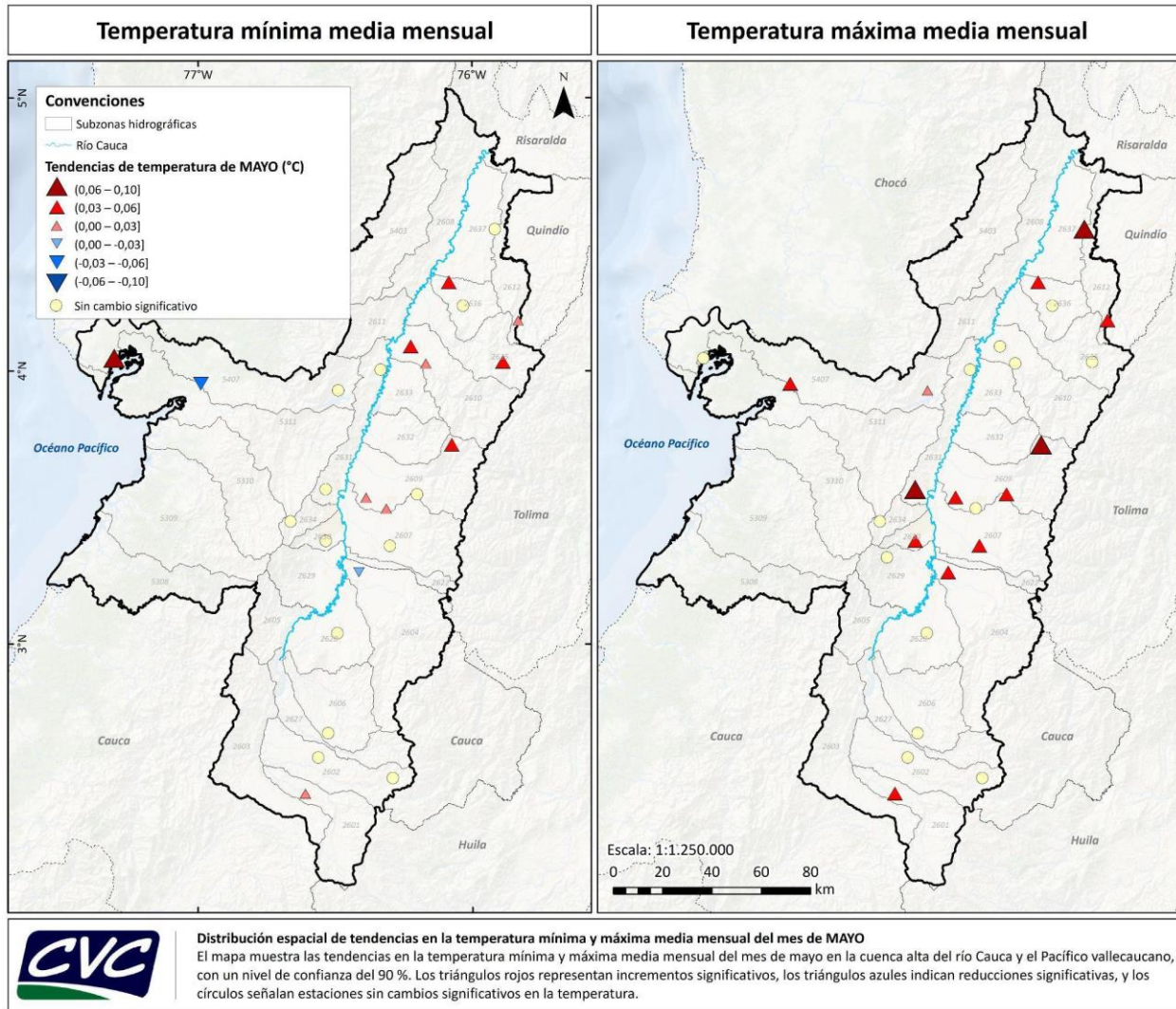


Figura 17. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de mayo (1990-2023)

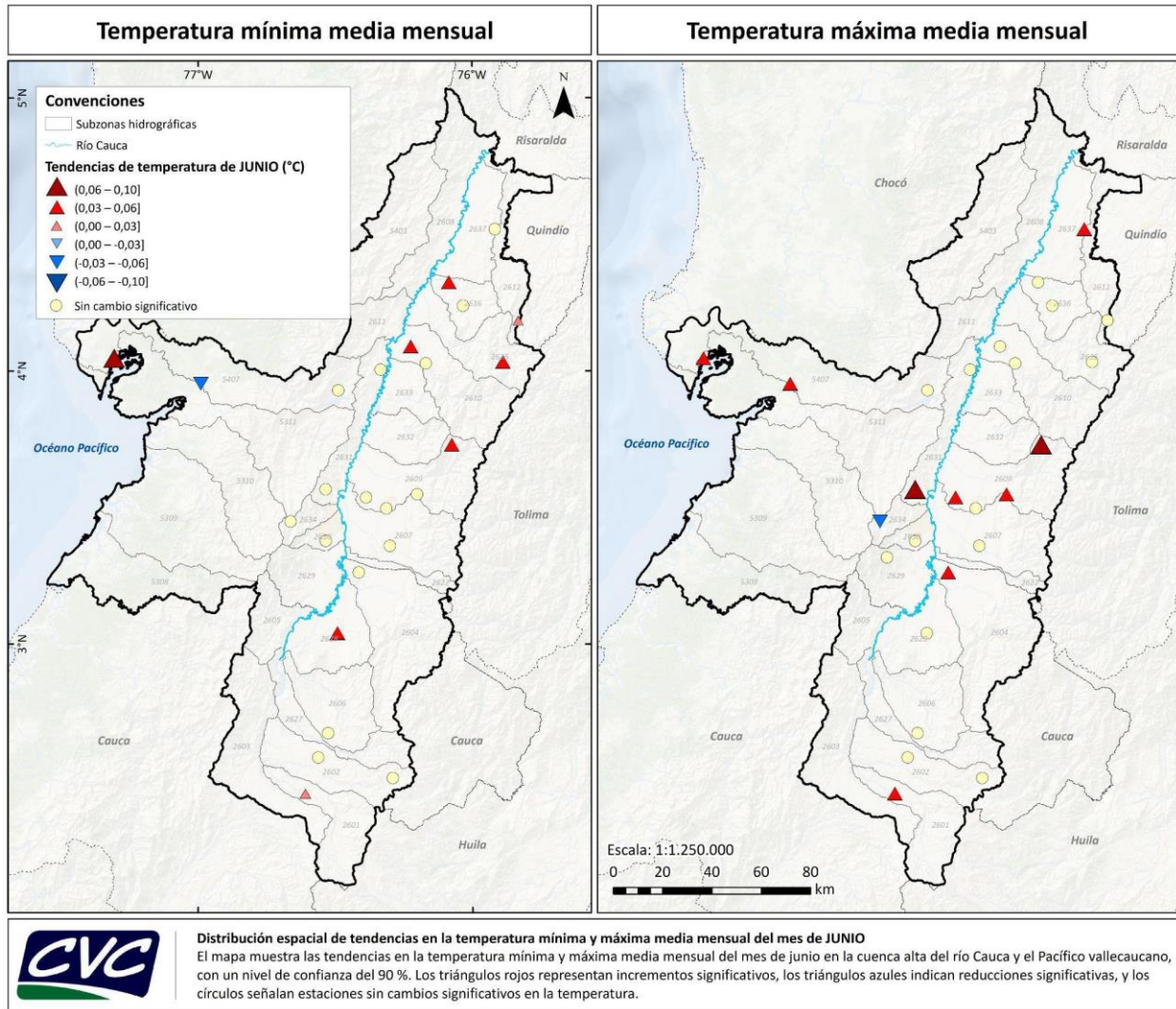


Figura 18. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de junio (1990-2023)

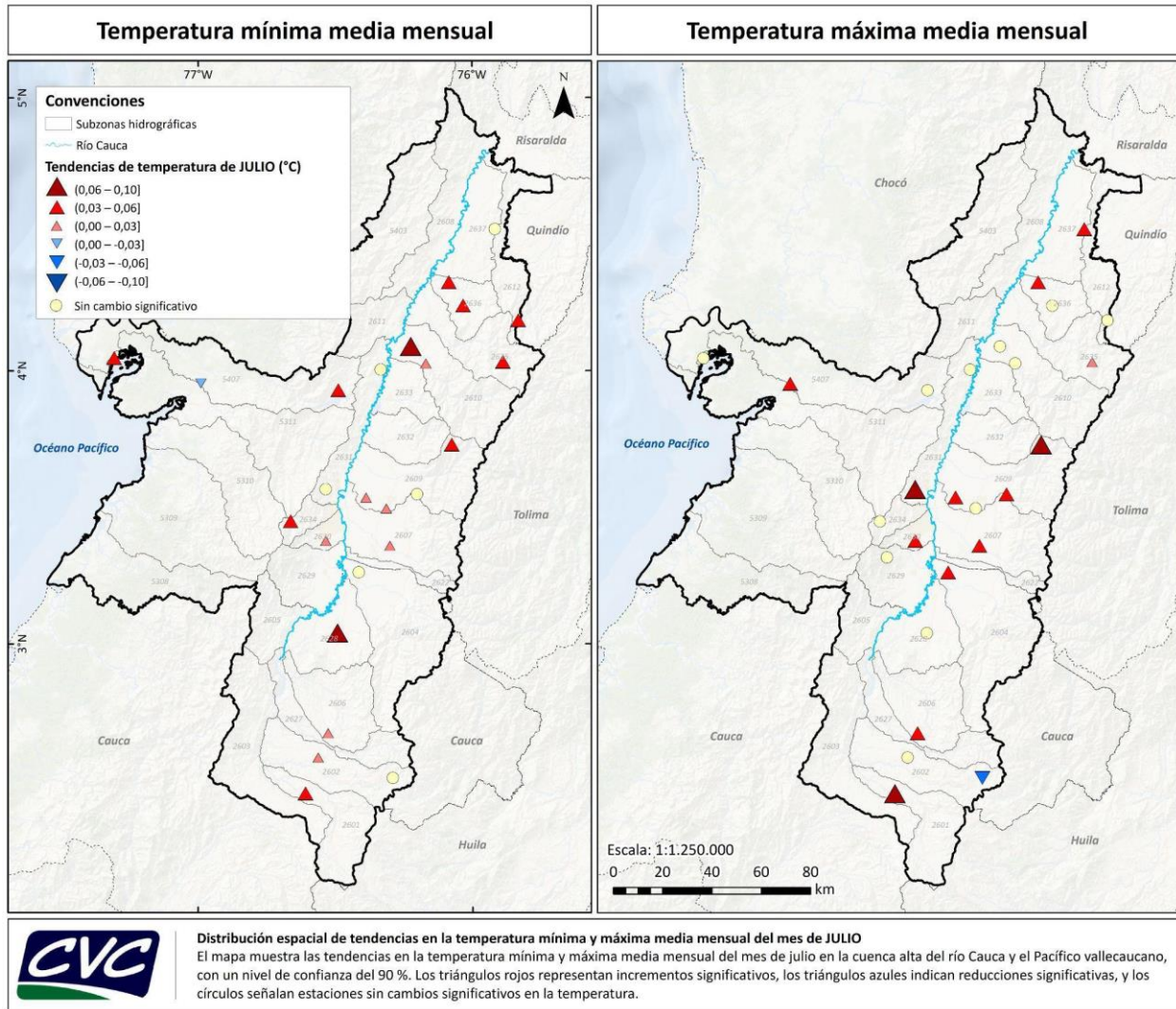


Figura 19. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de julio (1990-2023)

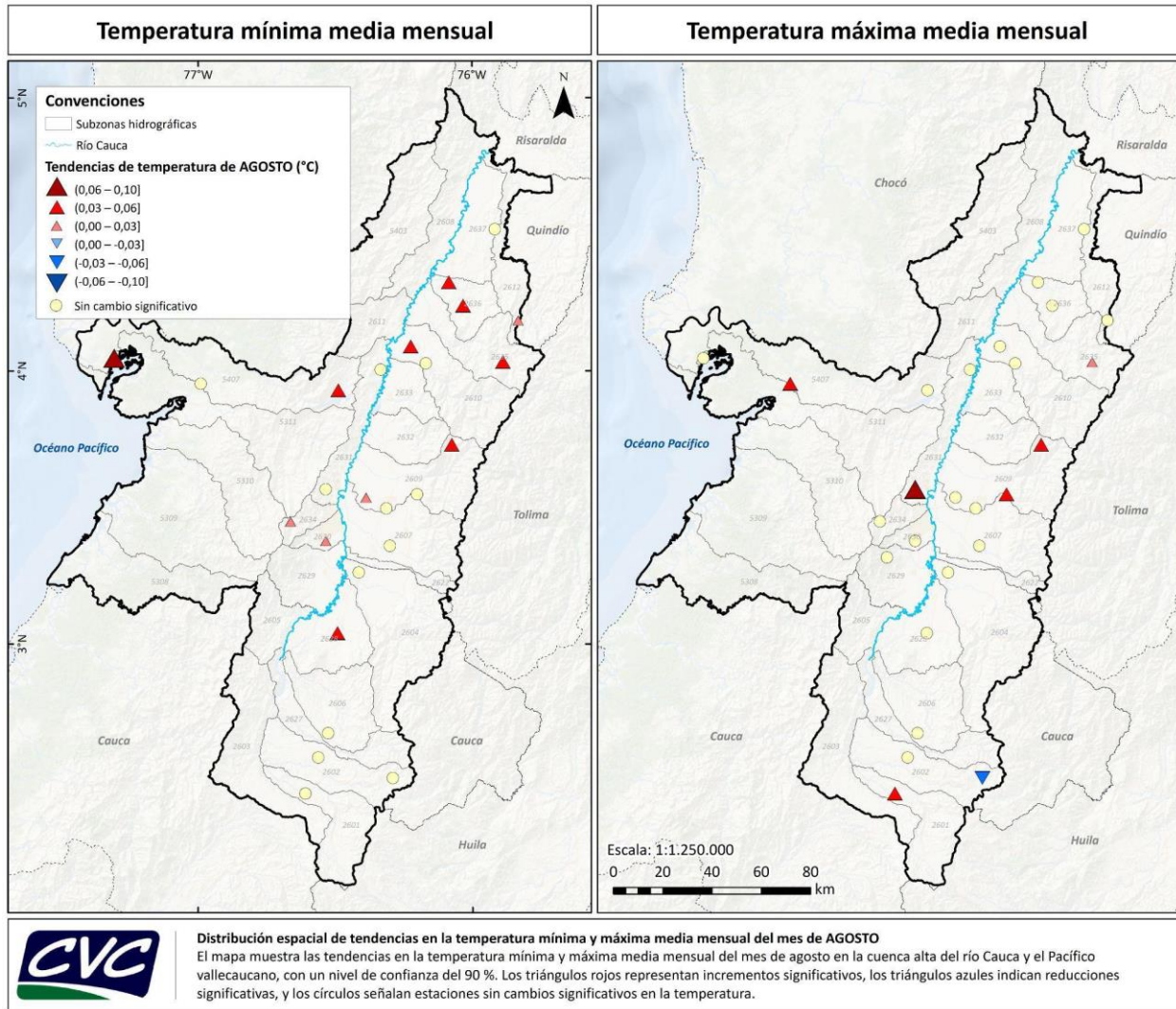


Figura 20. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de agosto (1990-2023)

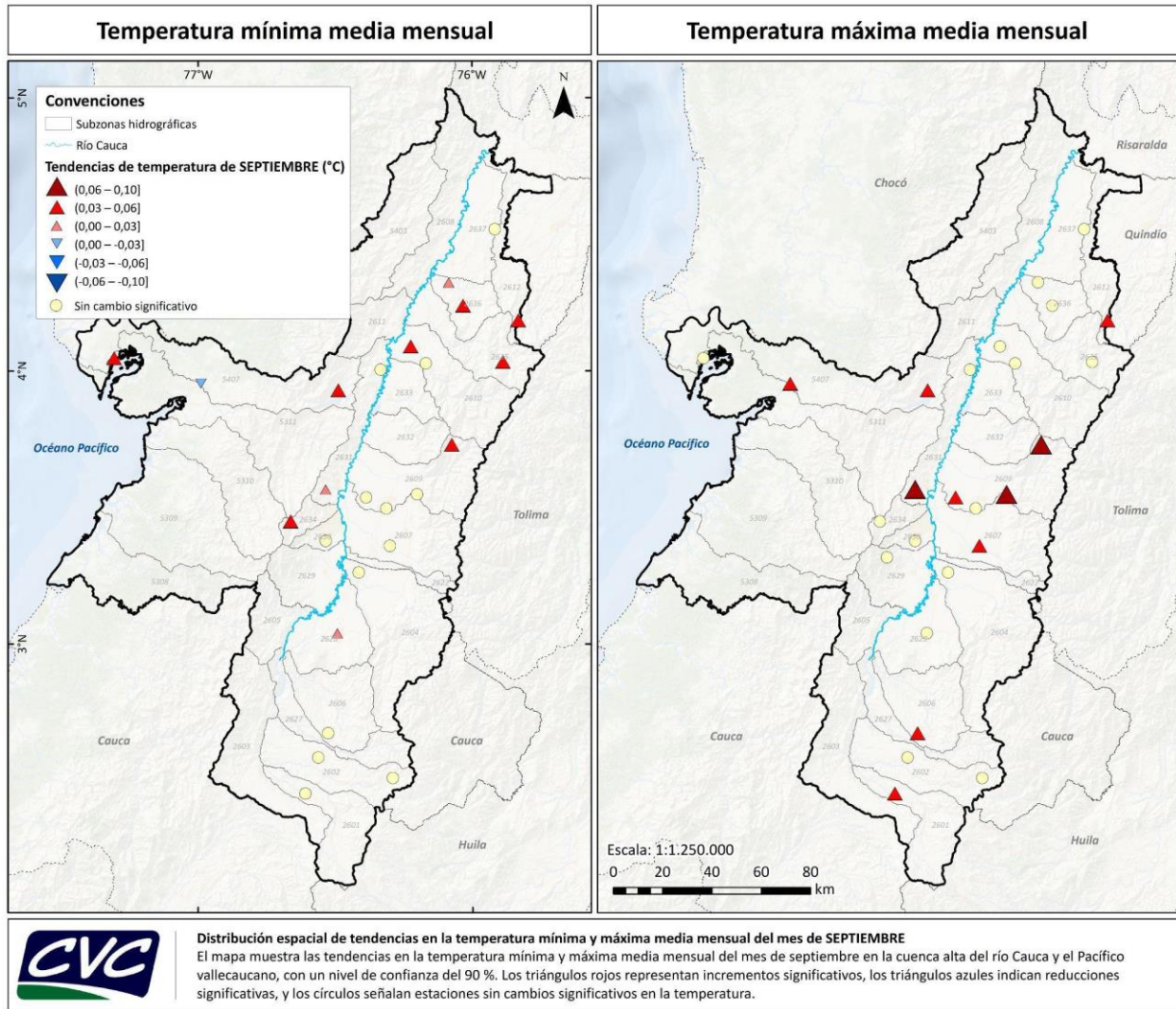


Figura 21. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de septiembre (1990-2023)

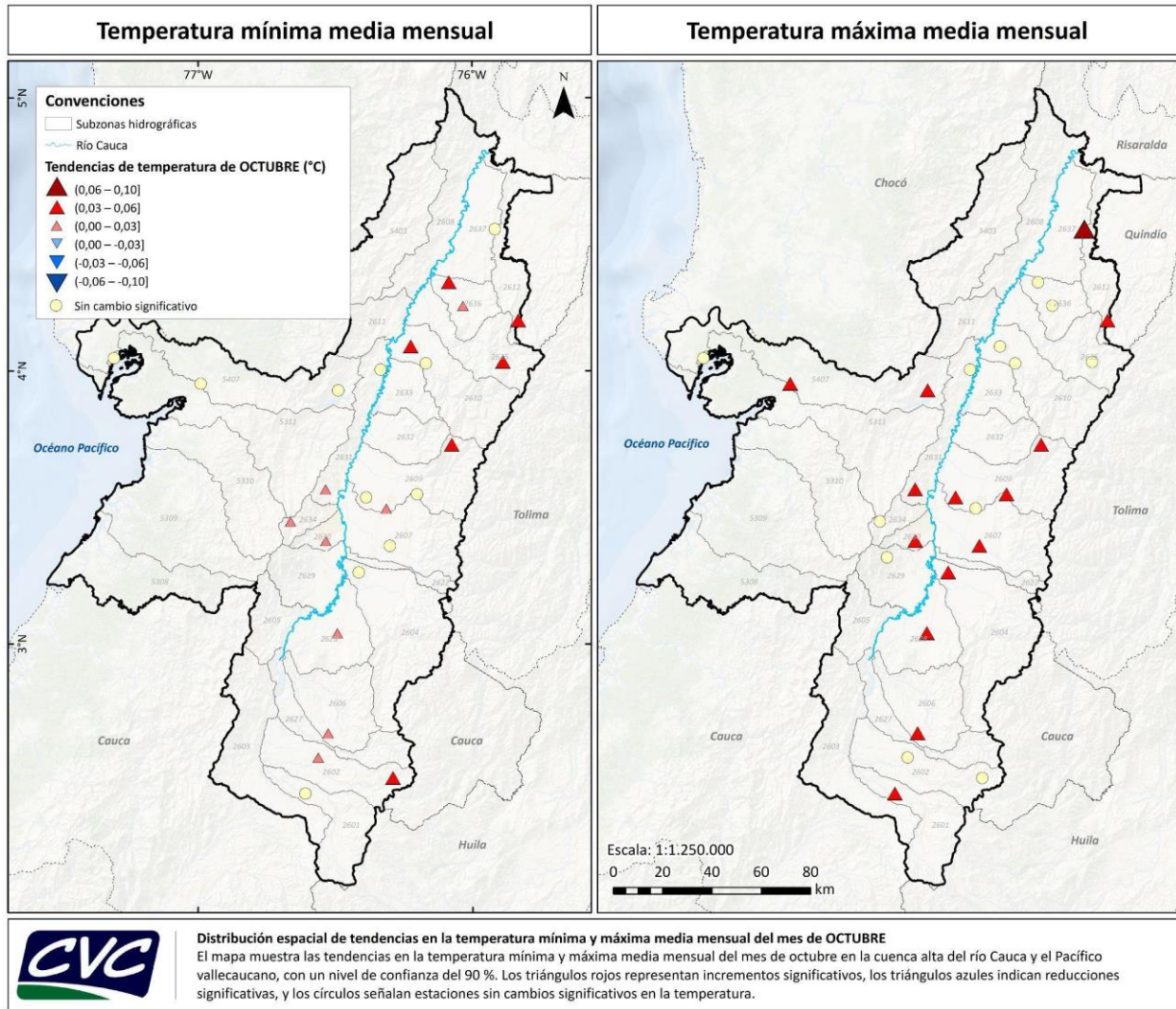


Figura 22. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de octubre (1990-2023)

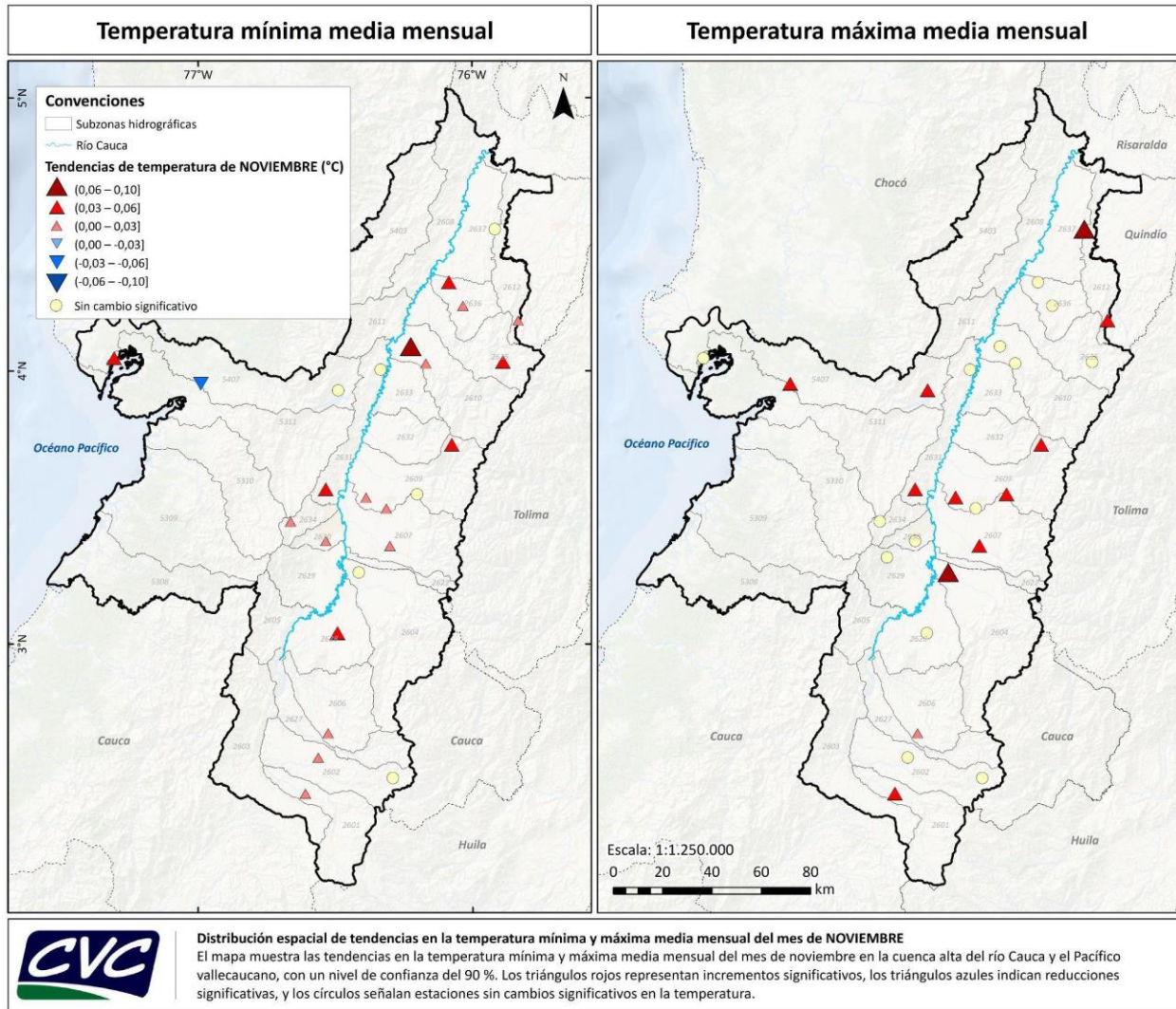


Figura 23. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de noviembre (1990-2023)

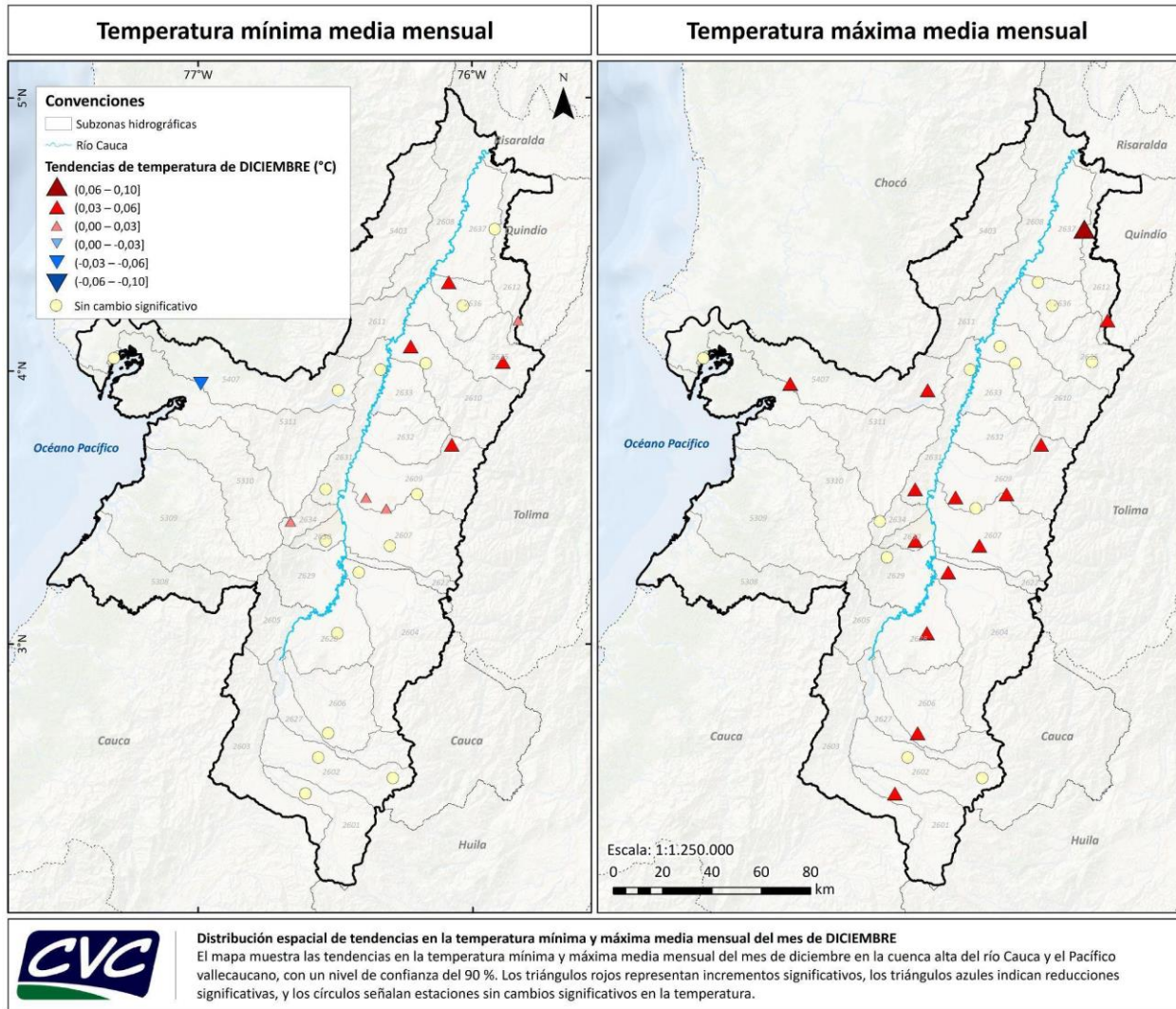


Figura 24. Distribución espacial de las tendencias de la temperatura mínima y máxima media para el mes de diciembre (1990-2023)

The background of the slide is a hazy, high-angle photograph of a city skyline, likely Santiago de Cali, with various skyscrapers and buildings visible through the mist.

4. CONCLUSIONES

4.1 Precipitación

- Se identificaron tendencias hacia el incremento de hasta 5 mm/quinquenio en el 10 % de las 136 estaciones analizadas, y tendencias hacia la reducción de hasta 20 mm/quinquenio en el 20 % de las estaciones, con base en la precipitación mensual histórica del período 1979–2023.
- En la precipitación anual, se determinaron tendencias hacia el incremento de hasta 15 mm/año en el 13 % de las estaciones, y tendencias hacia la reducción de hasta 55 mm/año en el 12,5 % de las estaciones, para el mismo período de 45 años.
- En la precipitación trimestral, se identificaron tendencias hacia el incremento de hasta 25 mm/año, siendo el trimestre marzo–mayo el más destacado con el 17 % de las estaciones afectadas. Las tendencias hacia la reducción alcanzaron hasta 20 mm/año, siendo el trimestre septiembre–noviembre el más afectado con el 18 % de las estaciones analizadas.
- En el análisis por mes, se identificaron tendencias hacia el incremento de hasta 10 mm/año, siendo marzo el mes más destacado con el 30 % de las estaciones afectadas. Las tendencias hacia la reducción alcanzaron hasta 20 mm/año, siendo septiembre el mes más crítico con el 38 % de las estaciones afectadas.
- En los meses secos (diciembre–febrero y junio–agosto), no se identificaron tendencias significativas en más del 90 % de las estaciones analizadas, lo cual indica estabilidad climática en estos periodos, al no superarse el nivel de confianza del 90 % en la prueba de Mann-Kendall.
- Las tendencias hacia el incremento de la precipitación anual en el norte y suroriente del Valle del Cauca y el norte del Cauca corresponden con los escenarios proyectados por el IDEAM hacia el año 2100.
- La tendencia hacia la reducción de la precipitación en el mes de septiembre podría extender el trimestre más seco del año en la cuenca del río Cauca (junio-julio-agosto), y generar un déficit durante la temporada más lluviosa del Pacífico vallecaucano (septiembre-octubre).
- La tendencia hacia el incremento de la precipitación en marzo en la cuenca del río Cauca podría incrementar las amenazas hidrometeorológicas durante la primera temporada lluviosa (marzo–mayo).

- En el Pacífico vallecaucano predominan las tendencias hacia la reducción de la precipitación, especialmente en la llanura del Pacífico, tanto en los análisis de precipitación mensual histórica como en el comportamiento anual.
- En la cuenca del río Cauca la tendencia hacia la reducción de la precipitación se presenta principalmente en las subzonas hidrográficas: Arroyohondo-Yumbo-Mulaló- Vijes-Yotoco-Mediacaño-Piedras, Amaime-Cerrito y Alto río Cauca. En contraste, la tendencia hacia el incremento de la precipitación se presenta principalmente en las subzonas hidrográficas: Cali, Lili-Meléndez-Cañaveralejo, Guachal, Las Cañas-Los Micos- Obando y La Vieja.

4.2 Temperatura

- Se identificaron tendencias hacia el incremento de la temperatura mínima media mensual en el 76 % de las estaciones y de la temperatura máxima media mensual en el 58 % de las estaciones, con magnitudes de hasta 0,3 °C/quinquenio para el período 1990–2023.
- En 34 años (1990–2023), la temperatura mínima media mensual ha mostrado un incremento acumulado entre 0,6 °C y 1,4 °C, mientras que la temperatura máxima media mensual ha incrementado entre 0,2 °C y 1,4 °C, según los registros de las estaciones estudiadas.
- Septiembre se destaca como el mes más crítico en términos de reducción de la precipitación, y además presenta tendencias hacia el incremento de la temperatura mínima y máxima media mensual en el 44 % y 39 % de las estaciones, respectivamente. Este posible retraso en el inicio de la temporada lluviosa podría aumentar los requerimientos hídricos de los cultivos, representando una amenaza para el sector agrícola, en particular para la agricultura de secano.
- Se identificaron tendencias hacia el incremento de hasta 0,1 °C/año en la temperatura mínima y máxima media mensual. Los meses de julio y noviembre fueron los más destacados, con más del 70 % de las estaciones de temperatura mínima y más del 45 % de las estaciones de temperatura máxima afectadas.



5. REFERENCIAS

- Adler, C., P. Wester, I. Bhatt, C. Huggel, GE Insarov, MD Morecroft, V. Muccione y A. Prakash, 2022: Documento transversal 5: Montañas. En: *Cambio climático 2022: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., págs. 2273–2318, doi:10.1017/9781009325844.022.
- Barry, R. G. y Chorley, R. J. (2003). *Atmosphere, Weather and Climate* (8ª ed.). Londres: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203428238>
- Canchala, T., Ocampo-Marulanda, C., Alfonso-Morales, W., Carvajal-Escobar, Y., Cerón, W. L., y Caicedo-Bravo, E. (2022). Techniques for monthly rainfall regionalization in southwestern Colombia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(4), e20201000. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201000>
- Canchala-Nastar, T., Carvajal-Escobar, Y., Alfonso-Morales, W., Loaiza Cerón, W., y Caicedo, E. (2019). Estimation of missing data of monthly rainfall in southwestern Colombia using artificial neural networks. *Data in Brief*, 26, 104517. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104517>
- Cardona-Guerrero, F., Ávila-Díaz, A. J., Carvajal-Escobar, Y., y Jiménez-Escobar, H. (2014). Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *Tecno Lógicas*, 17(32), 85–95. <https://doi.org/10.22430/22565337.96>
- Carvajal Escobar, Y., González López, N., Enciso Arango, A. M., Loaiza Cerón, W., Gaviria Collazos, A., Canchala Nastar, T., y Ocampo Marulanda, C. (2020). *Atlas: Eventos extremos de precipitación del Valle del Cauca*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Castro, L. y Escobar, Y. (2010). *Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1(9), 15-25. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- Cooley, S., D. Schoeman, L. Bopp, P. Boyd, S. Donner, DY Ghebrehiwet, S.-I. Ito, W. Kiessling, P. Martinetto, E. Ojea, M.-F. Racault, B. Rost y M. Skern-Mauritzen, 2022: Océanos y ecosistemas costeros y sus servicios. En: *Cambio climático 2022: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., págs. 379–550, doi:10.1017/9781009325844.005.

- CVC y Universidad del Valle (2008). *Análisis de tendencias climáticas en la cuenca del río Cauca*. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle.
- CVC, CIAT y Gobernación del Valle del Cauca (2018). *Plan Integral de Gestión del Cambio Climático para el Valle del Cauca*. Santiago de Cali: CVC.
- Díaz, J. M. (2006). La Esencia del Trópico. En S. Montes Veira (ed.), *Bosque Seco Tropical Colombia*. Bogotá, Colombia: Banco de Occidente.
- Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng y G. Ziervogel, 2022: Ciudades, asentamientos e infraestructura clave. En: *Cambio climático 2022: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., págs. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008.
- González Lozano, F. A. (2014). *Hidroclimatología del departamento de Caldas*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, y Cancillería. (2017). *Resumen ejecutivo: Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Bogotá D.C., Colombia: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou, eds.). Cambridge University Press.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, et al., Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems* [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E.

- Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi y J. Malley (eds.)). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). London: Charles Griffin.
- Mejía, F., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J., Hoyos, C., Mantilla, R., Barco, J., Cuartas, A., Montoya, M., y Botero, B. (1999). Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *Dyna (Medellín, Colombia)*, 127, 7–26.
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2ª ed.). Routledge.
- Penning, E., Peñailillo Burgos, R., Mens, M., Dahm, R., & de Bruijn, K. (2023). Nature-based solutions for floods AND droughts AND biodiversity: Do we have sufficient proof of their functioning? Cambridge Prisms: *Water*, 1(e11). doi:10.1017/wat.2023.12
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(107), 201–222. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.28\(107\).2004.1991](https://doi.org/10.18257/raccefyn.28(107).2004.1991)
- Poveda, G., Álvarez, D. M., y Rueda, Ó. A. (2010). Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: A review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics*, 36(11–12), 2233–2249. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0931-y> gewexevents.org
- Quintero-Ángel, M., Rojas-Padilla, C., y Casallas, F. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 31(5), 63-71. Recuperado de
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- UNDRR (2021). *GAR Special Report on Drought 2021*. Geneva.
- Wallace, J. M. y Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey* (2ª ed.). Academic Press. ISBN 0-12-732951-X.
- World Meteorological Organization (WMO) (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization* (WCDMP-53, WMO-TD No. 1186). Ginebra, Suiza: WMO.