

Projection Of Temperature Behavior For The Period 2020-2100 In The Zulia River Basin In The Municipalities Of Pamplona, Pamplonita, Cúcuta, El Zulia And Salazar, Norte De Santander – Colombia

Proyección Del Comportamiento De La Temperatura Para El Periodo 2020-2100 En La Cuenca Del Río Zulia En Los Municipios Pamplona, Pamplonita, Cúcuta, El Zulia Y Salazar, Norte De Santander – Colombia

Vera-Mogollón, D. E.¹; Ramón, J. D.²; Henríquez, M. C.³

¹M.Sc © **Derly Estefany Vera Mogollón. Candidata a Magister en Ingeniería Ambiental.** Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje. e-mail: derly.veram@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1090-8525>

²PhD. **Jarol Derley Ramón Valencia. Ingeniero de Recursos Naturales y del Ambiente.** Programa de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona. jarol.ramon@unipamplona.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4929-8544>

³ PhD. **Carlos Henríquez Miranda. Profesor Asociado.** Programa de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingenierías. Universidad del Magdalena. e-mail: chenriquezm@unimagdalena.edu.co. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8252-1413>.

Entidad

Servicio Nacional de Aprendizaje, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 3134191274

E-mail: derly.veram@gmail.com

Recibido: 03/03/2025 / Aceptado: 25/05/2025

Resumen

El cambio climático, aunque de origen natural, ha sido acelerado por la actividad humana, principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al desarrollo, el crecimiento poblacional y los patrones de consumo. Esta influencia antrópica ha provocado alteraciones significativas en el clima durante los últimos 25 años, que no pueden explicarse únicamente por la variabilidad natural. En Colombia, el IDEAM ha reportado un aumento de 0,13 °C por década en la temperatura media (1971–2000), siendo Norte de Santander uno de

los departamentos más afectados, con proyecciones de aumentos de hasta 4 °C hacia finales del siglo XXI. Este departamento enfrenta limitaciones institucionales y comunitarias para gestionar dichos impactos, agravadas por el limitado acceso a información climática. Dado que los Modelos de Circulación General (MCGs) no tienen suficiente resolución para aplicaciones locales, se hace necesario aplicar técnicas de reducción de escala (downscaling) para generar escenarios climáticos más precisos. Este estudio tiene como objetivo construir proyecciones de temperatura para la cuenca del río Zulia mediante técnicas de escalamiento espacial, con el fin de identificar señales de cambio y variabilidad climática, y así contribuir a la formulación de estrategias de mitigación y adaptación.

Palabras Clave: Cambio climático, proyecciones de temperatura, reducción de escala, Modelos de Circulación General, variabilidad climática.

Abstract

Climate change, although a natural process, has been accelerated by human activity, primarily due to greenhouse gas emissions linked to development, population growth, and consumption patterns. Anthropogenic influence has caused significant alterations in the climate over the past 25 years, which cannot be attributed solely to natural variability. In Colombia, the IDEAM has reported an increase in average temperature of 0.13 °C per decade (1971–2000), with Norte de Santander among the most affected departments. Projections estimate temperature increases of up to 4 °C by the end of the 21st century. This region faces institutional and community-level challenges in addressing the impacts of rising temperatures, compounded by limited access to hydroclimatic information. As General Circulation Models (GCMs) lack the spatial resolution needed for local planning, downscaling techniques are essential to derive site-specific climate scenarios. This study aims to generate temperature projections for the Zulia River basin using spatial downscaling methods to detect climate change and variability signals, providing a foundation for developing effective mitigation and adaptation strategies.

Keywords: Climate change, temperature projections, downscaling, General Circulation Models, climate variability.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un proceso natural que ha sido acelerado por la influencia humana debido a la gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera asociadas al desarrollo humano, el crecimiento de la población y los patrones de consumo. La influencia antrópica sobre el medio ha alterado el clima de los últimos 25 años, de modo que las modificaciones registradas a escala planetaria no podrían atribuirse exclusivamente a las anomalías y

variabilidad natural del sistema climático (Allen *et al.*, 2000; Bindoff *et al.*, 2013)

En los últimos años, diversos organismos nacionales e internacionales han realizado un esfuerzo considerable para poner de manifiesto la amenaza que se deduce de la problemática del cambio climático.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010) menciona que la temperatura media del país está aumentando a una tasa de

cambio de $0,13^{\circ}\text{C}$ por década para el período 1971-2000; Norte de Santander es uno de los departamentos que ha sentido mayormente este aumento. De la misma forma, se proyectan en la temperatura con escenarios de hasta 1 y 4°C de aumento para el período 2070-2100. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperan en gran parte de las regiones Caribe y Andina, especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima.

Norte de Santander presenta deficiencias para enfrentar impactos generados por aumentos considerables de temperatura a nivel institucional y comunitario, dificultades para acceder a la información, lo que impide mejorar la gestión de información hidroclimática. Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J. & Ramón, J. (2015).

Los Modelos de Circulación General (MCGs) de la atmósfera usan ecuaciones matemáticas para representar los principales procesos físicos a gran escala, con tal resolución es difícil precisar acciones de adaptación para un sitio o un sector en particular, por lo que las salidas de los MCGs requieren la aplicación de técnicas de reducción de escala (downscaling). La base de las técnicas de reducción de escala es que existen relaciones dinámicas o estadísticas entre el clima local y el de gran escala, lo que permite determinar condiciones locales a partir de información de baja resolución. (Semenov *et al.*, 1998; Wilby *et al.*, 2007).

El objetivo de este trabajo es generar a partir de las proyecciones de los MCGs, escenarios de temperatura, parámetro que

hace parte de la medición del clima y que se ve altamente influenciado por el cambio climático, utilizando herramientas escalamiento espacial que ayuden la identificación de señales de cambio climático y variabilidad climática en la cuenca del río Zulia esperando que sean la base para la construcción de medidas clave para la mitigación y adaptación a los impactos actuales y esperados del cambio climático.

2. METODOLOGIA

Para dar cumplimiento al objeto de estudio inicialmente, fue necesario seleccionar las estaciones del Ideam para la cuenca del río Zulia. El criterio de selección de las estaciones fue que tuviesen información recolectada en el periodo 1970-2020, para la temperatura.

En el estudio se hace una aproximación para proyectar el comportamiento de la temperatura para los municipios Pamplona, Pamplonita, Cúcuta, El Zulia y Salazar de la cuenca del río Zulia en el departamento Norte de Santander. a través de la detección y cuantificación de tendencias de cambio en las series de tiempo de temperaturas registradas por las estaciones del IDEAM localizadas en la cuenca objeto de estudio.

Las proyecciones realizadas corresponden a una escala regional y local, que resulta una alternativa a los modelos globales de circulación que generan resultados a escala general. Para cuantificar las tendencias detectadas y estimar la magnitud de las alteraciones climáticas en los últimos años se utilizan modelos estadísticos y procesos de interpolación a través del método de Distancia Inversa

Ponderada (IDW), para modelar la distribución espacial de las tendencias climáticas de temperatura en la zona de estudio.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Cuenca Hidrográfica del Río Zulia posee un área total de 348.418,05 hectáreas y se ubica geográficamente en el departamento de Norte de Santander. En la Figura 1, se presentan los quince (15) municipios pertenecientes a la Cuenca del Río Zulia, entre ellos Pamplona, Pamplonita, Cúcuta, El Zulia y Salazar, municipios objeto de estudio.

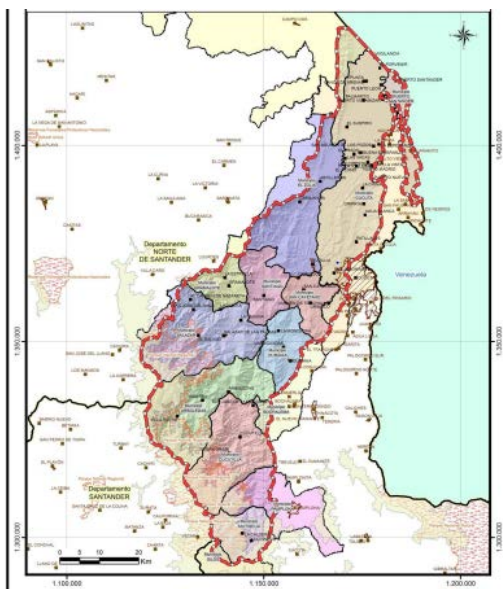


Figura 1. Cuenca del Río Zulia. Fuente. POMCA Río Zulia

Se tomaron 8 estaciones de temperatura con un registro histórico de 40 años (01/01/1970-31/12/2020) en temporalidad diaria a las cuales se realizó un procedimiento de datos faltantes por medio de interpolación de distancia inversa ponderada.

La tabla 1 consigna las estaciones consideradas en el presente estudio. Los datos obtenidos del repositorio de datos del Ideam contienen información diaria de temperatura.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas consideradas

CODIGO CAT.	NOMBRE	MPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
16015010	APTO CAMILO DAZA	CÚCUTA	7,9302778	-72,50917	250
16015020	ISER PAMPLONA	PAMPLONA	7,3731111	-72,645	2.340
16015040	STA ISABEL [16015040]	CÚCUTA	8,2333333	-72,43333	90
16015140	FCA.LA PALMITA	PAMPLONITA	7,5173611	-72,64408	1.107
16025010	CARME N DE TONCHALA	CÚCUTA	7,8488889	-72,56611	285
16025020	RISARALDA [16025020]	EL ZULIA	8,2333333	-72,53333	90
16025030	SALAZAR [16025030]	SALAZAR	7,7745833	-72,83056	860
16025040	CINER A-VILLAOLGA	CÚCUTA	8,1677778	-72,46861	100

Fuente. Autores, 2025

3.1 TEMPERATURA MÁXIMA

La figura 2, presenta las proyecciones de temperatura máxima anual para la estación ISER Pamplona (ubicada en Pamplona, Norte de Santander, Colombia), bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP) durante el periodo 2020 a 2100. En todos los escenarios, se observa una tendencia al aumento de la temperatura máxima anual hacia el año 2100. El escenario SSP1-2.6 muestra el menor incremento, manteniéndose mayormente por debajo de 22 °C, lo que sugiere que, si se aplican políticas efectivas de reducción de emisiones, el aumento de temperatura sería moderado. El escenario SSP5-8.5 presenta un

aumento más acelerado, alcanzando valores cercanos a 26 °C al final del siglo, lo que representa un incremento de hasta 6-7 °C respecto al inicio del periodo.

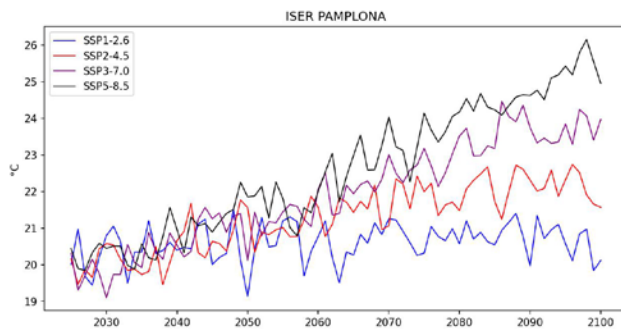


Figura 2. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación ISER Pamplona. **Fuente.** Autores, 2025

La figura 3, muestra las proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Santa Isabel ubicada en el municipio de Pamplonita, bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP – Shared Socioeconomic Pathways) para el periodo comprendido entre 2020 y 2100.

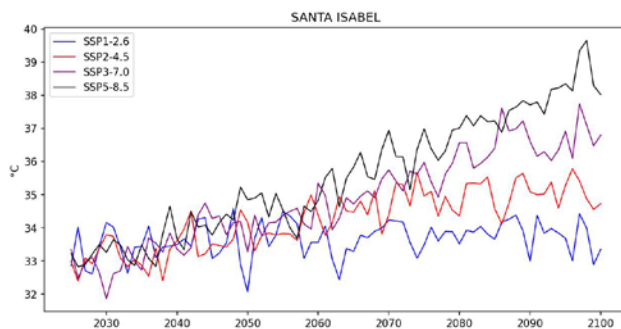


Figura 3. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Sta Isabel. **Fuente.** Autores, 2025

Se observa una tendencia clara de aumento en la temperatura máxima anual en todos los escenarios. En el escenario SSP1-2.6, el aumento es más controlado, manteniéndose por debajo de los 35 °C hacia 2100. En los escenarios de mayores emisiones (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), la

temperatura supera los 37 °C y puede llegar hasta casi 40 °C en el escenario más crítico (SSP5-8.5).

La figura 4, muestra las proyecciones de temperatura máxima anual para la estación FCA La Palmita ubicada en el municipio de Pamplonita, bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP – Shared Socioeconomic Pathways) para el periodo 2020-2100.

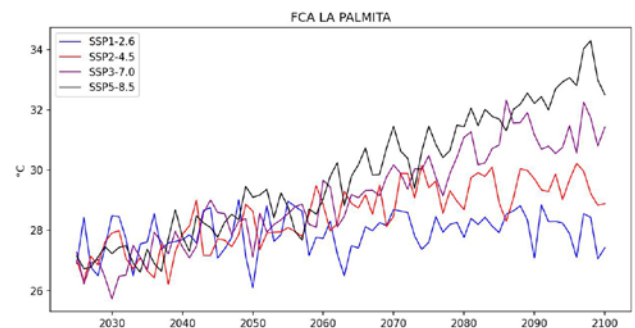


Figura 4. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación FCA La Palmita. **Fuente.** Autores, 2025

Todos los escenarios muestran un aumento gradual de la temperatura máxima anual a lo largo del siglo XXI. En el escenario SSP1-2.6, el incremento es moderado, alcanzando valores cercanos a los 29-30 °C hacia 2100. En el escenario SSP5-8.5, la temperatura podría llegar hasta los 34 °C, lo que implica un aumento de hasta 8 °C respecto al inicio del periodo.

Las oscilaciones en cada línea reflejan la variabilidad interanual, pero todas siguen una tendencia ascendente clara, más pronunciada en los escenarios de mayores emisiones.

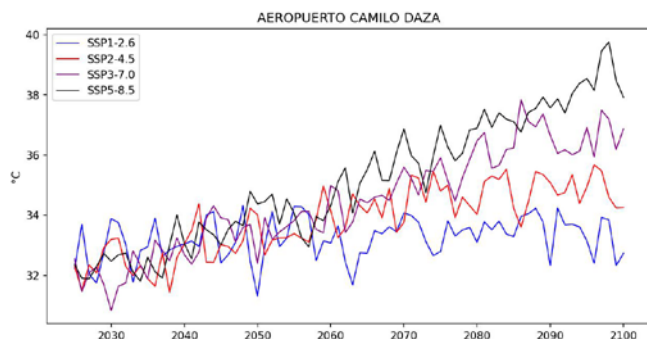


Figura 5. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Aeropuerto Camilo Daza. **Fuente.** Autores, 2025

Para la estación AEROPUERTO CAMILO DAZA, ubicada en Cúcuta, La gráfica muestra proyecciones de temperatura máxima anual bajo diferentes escenarios de cambio climático (SSP - Shared Socioeconomic Pathways) para el periodo 2020 - 2100.

Para SSP1-2.6 (azul): Escenario de bajas emisiones y desarrollo sostenible. Muestra un leve aumento en la temperatura. Por su parte, el SSP2-4.5 (rojo): Escenario intermedio. Presenta una tendencia creciente, aunque menos pronunciada. El SSP3-7.0 (morado): Escenario de altas emisiones. Se observa un incremento significativo de la temperatura. Y finalmente SSP5-8.5 (negro): Escenario de muy altas emisiones. Muestra el mayor aumento de temperatura, alcanzando cerca de 40 °C hacia finales del siglo.

La figura 6, presenta las proyecciones de temperatura media anual para la estación Carmen de Tonchalá (Cúcuta), bajo diferentes escenarios de cambio climático (SSP) durante el periodo 2020-2100.

Todos los escenarios muestran un aumento progresivo en la temperatura máxima anual. En el escenario SSP1-2.6,

el incremento es más contenido, alcanzando cerca de 34-35 °C hacia finales de siglo. En el escenario más extremo (SSP5-8.5), la temperatura asciende hasta casi 40 °C en 2100, lo que implica un aumento de alrededor de 7-8 °C con respecto al inicio del periodo.

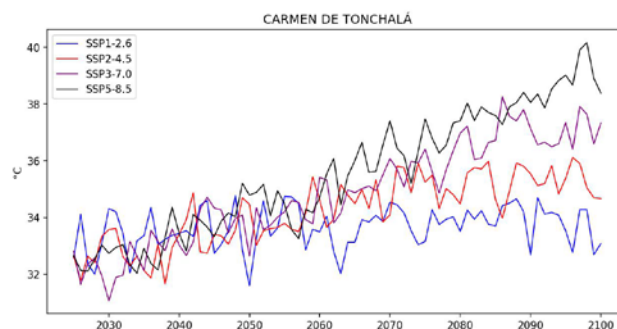


Figura 6. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Carmen de Tonchalá. **Fuente.** Autores, 2025

El escenario SSP1-2.6 presenta un aumento más moderado, alcanzando hacia el 2100 temperaturas cercanas a los 34–35 °C. En el escenario SSP5-8.5, la temperatura se eleva significativamente, llegando a cerca de 39 °C para finales de siglo.

Las fluctuaciones anuales son normales debido a la variabilidad climática natural, pero la tendencia general es al alza, especialmente en los escenarios de mayores emisiones.

La figura 7, muestra las proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Cinera Villa Oga, bajo diferentes escenarios de cambio climático (SSP) durante el periodo 2020–2100.

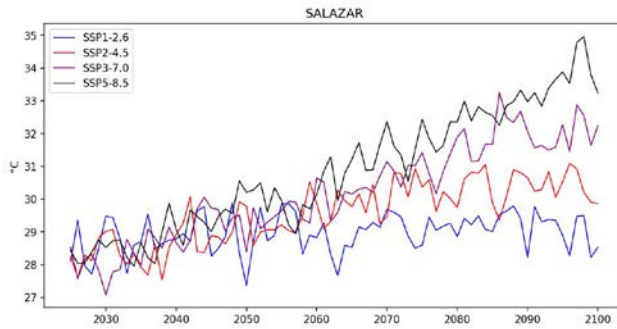


Figura 7. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Cinera Villa Olga. **Fuente.** Autores, 2025

Todos los escenarios muestran un incremento progresivo en la temperatura máxima anual.

La figura 8, presenta las proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Risaralda, ubicada en El Zulia, bajo diferentes escenarios de cambio climático (SSP) durante el periodo 2020-2100.

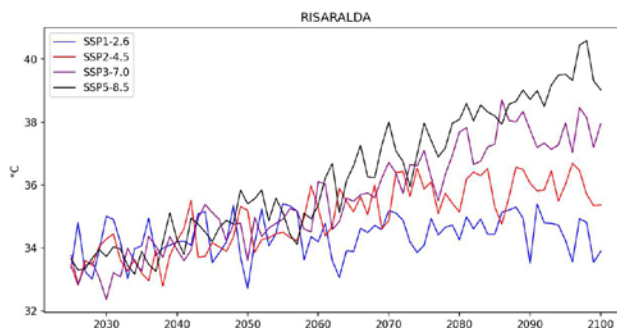


Figura 8. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Risaralda. **Fuente.** Autores, 2025

En todos los escenarios, se observa una tendencia ascendente en la temperatura máxima anual a lo largo del siglo XXI. El SSP1-2.6 presenta el menor incremento, manteniéndose mayormente por debajo de 35 °C. En el SSP5-8.5, la temperatura podría alcanzar más de 40 °C hacia finales del siglo, evidenciando un aumento de más de 6 °C respecto al punto de

partida. Las variaciones interanuales (picos y valles) reflejan la variabilidad climática, pero con una clara tendencia al alza en los escenarios más agresivos.

La figura 9, muestra las proyecciones de temperatura máxima anual para el municipio de Salazar, bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP) en el periodo 2020-2100.

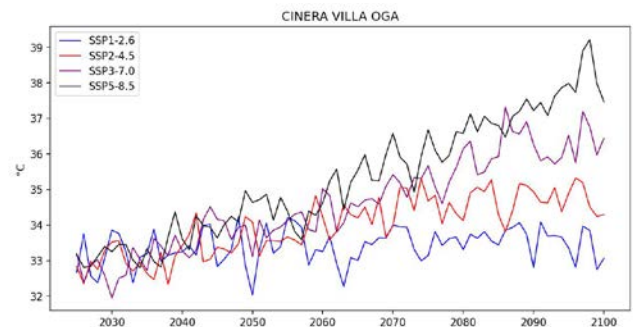


Figura 9. Proyecciones de temperatura máxima anual para la estación Salazar **Fuente.** Autores, 2025

Se observa una tendencia general al alza en la temperatura anual en todos los escenarios.

En el escenario más optimista (SSP1-2.6), la temperatura se mantiene entre 27 °C y 30 °C hacia finales del siglo. En el escenario más extremo (SSP5-8.5), la temperatura media podría llegar a los 34-35 °C, lo que indica un aumento potencial de hasta 7-8 °C.

Las curvas reflejan una variabilidad interanual, pero las trayectorias más contaminantes muestran incrementos más pronunciados y sostenidos.

La figura 10, muestra las proyecciones de la temperatura mínima media anual en la estación ISER Pamplona bajo cuatro

escenarios de cambio climático (SSP) para el período 2020–2100.

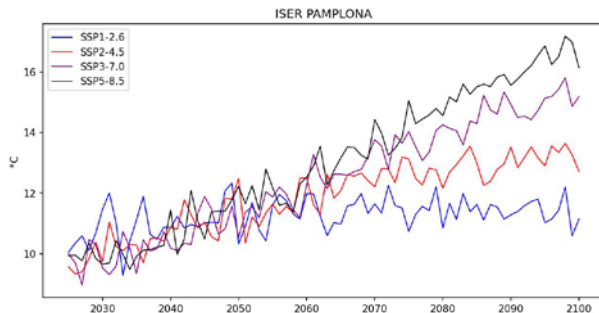


Figura 10. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Iser Pamplona.

Fuente. Autores, 2025

Todas las trayectorias muestran un aumento progresivo en la temperatura mínima hacia finales de siglo.

En el SSP1-2.6, la temperatura mínima aumenta de unos 10 °C aproximadamente 12 °C, mostrando un calentamiento moderado.

En el SSP5-8.5, el aumento es mucho más pronunciado, alcanzando casi 17 °C, lo que representa un calentamiento severo. A partir del año 2050, las trayectorias comienzan a divergir claramente, reflejando la influencia de las distintas políticas y niveles de emisiones.

La figura 11, muestra las proyecciones de la temperatura mínima media anual para la estación Santa Isabel desde el año 2020 hasta 2100, bajo cuatro escenarios de cambio climático representados por las trayectorias SSP (Shared Socioeconomic Pathways).

Todas las trayectorias muestran un aumento progresivo en la temperatura mínima hacia finales de siglo.

SSP1-2.6: La temperatura mínima sube levemente, de 22.5 °C a 24 °C, sugiriendo un calentamiento contenido.

SSP2-4.5: Aumenta hasta 25.5 °C, indicando un calentamiento moderado.

SSP3-7.0: Alcanza los 27 °C, marcando un calentamiento alto.

SSP5-8.5: Supera los 28.5 °C, proyectando un calentamiento crítico.

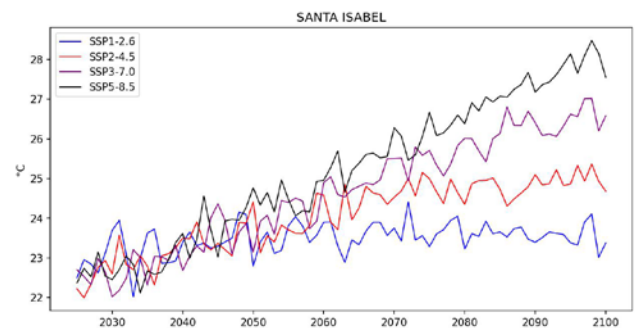


Figura 11. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Santa Isabel.

Fuente. Autores, 2025

Las trayectorias comienzan a separarse más claramente después del año 2040, mostrando la influencia acumulativa de las emisiones en cada escenario.

La figura 12, muestra las proyecciones de la temperatura mínima anual promedio para la estación FCA La Palmita desde el año 2020 hasta 2100,

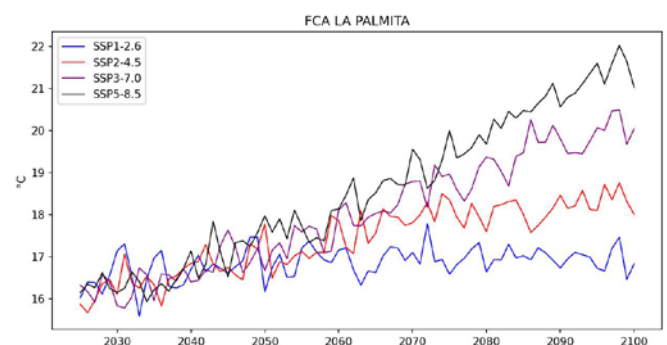


Figura 12. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación FCA La Palmita.
Fuente. Autores, 2025

Escenario más conservador (SSP1-2.6): Comienza alrededor de 16 °C y alcanza cerca de 17.5 °C en 2100. Representa un aumento moderado y controlado, posible con políticas climáticas estrictas.

Escenario intermedio (SSP2-4.5): Aumenta hasta 19 °C, mostrando un calentamiento moderado si se aplican acciones parciales de mitigación.

Escenario SSP3-7.0 (Altas emisiones): Proyecta temperaturas mínimas por encima de 20 °C hacia finales de siglo.

Escenario extremo (SSP5-8.5): El calentamiento es más pronunciado: de 16 °C hasta más de 22 °C. Muestra una diferencia de más de 5 °C respecto al escenario más sostenible, lo que puede tener consecuencias severas en el ecosistema y la actividad humana.

La figura 13, presenta las proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Aeropuerto Camilo Daza, desde el año 2020 hasta 2100, bajo cuatro escenarios climáticos definidos por las trayectorias socioeconómicas compartida

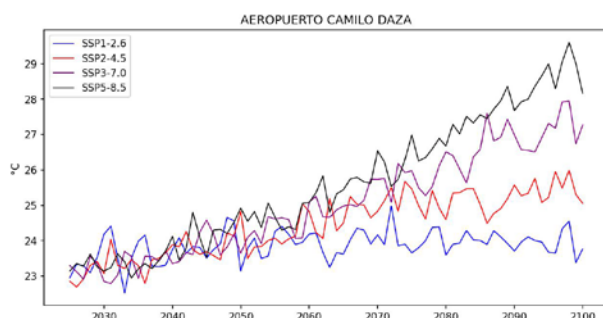


Figura 13. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Aeropuerto Camilo Daza. **Fuente.** Autores, 2025

Tendencia común en todos los escenarios:

La temperatura mínima aumenta de manera sostenida a lo largo del siglo XXI. Refleja el impacto del cambio climático en las temperaturas nocturnas.

Comparación entre escenarios:

SSP1-2.6 (azul): Aumento más leve, alcanzando cerca de 24.5 °C hacia 2100.

SSP2-4.5 (rojo): Subida más marcada, con valores aproximados de 26 °C en 2100.

SSP3-7.0 (morado): Proyecta temperaturas mínimas en torno a 27 °C.

SSP5-8.5 (negro): Escenario más severo, con temperaturas mínimas superiores a 29 °C.

La figura 14, muestra las proyecciones de temperatura mínima anual en la estación Carmen de Tonchalá desde el año 2020 hasta 2100, bajo cuatro escenarios de cambio climático basados en trayectorias socioeconómicas compartidas. Se presenta un aumento sostenido en todos los escenarios, las temperaturas mínimas anuales se incrementan gradualmente a lo largo del siglo XXI. Confirma un patrón consistente con el calentamiento global, incluso bajo escenarios de mitigación.

SSP1-2.6: Mantiene un incremento moderado, con temperaturas cercanas a 24 °C en 2100.

SSP2-4.5: Llega hasta aproximadamente 25.5 °C.

SSP3-7.0: Aumenta a unos 26.5 °C hacia el final del siglo.

SSP5-8.5: Escenario más alarmante, alcanzando hasta 28.5 °C. (SSP).

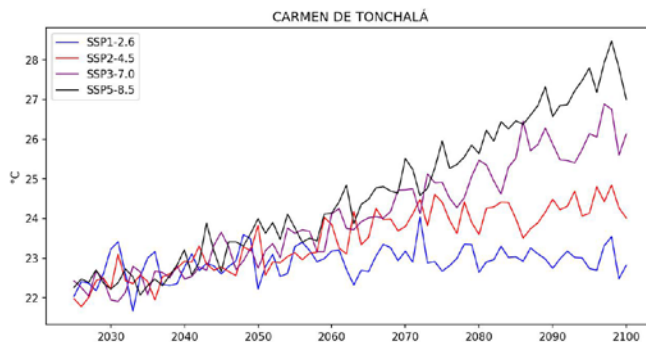


Figura 14. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Carmen de Tonchalá. **Fuente.** Autores, 2025

La figura 15, muestra la proyección de la temperatura mínima anual bajo distintos escenarios de cambio climático (SSP) desde 2020 hasta 2100. A continuación, se presenta un análisis detallado:

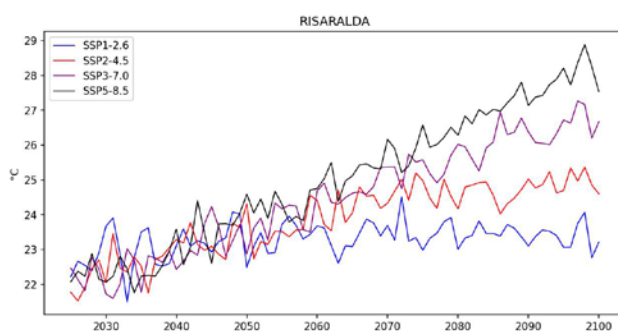


Figura 15. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Risaralda. **Fuente.** Autores, 2025

Se evidencia un aumento sostenido de la temperatura mínima anual a lo largo del siglo en todos los escenarios, confirmando

un patrón consistente con el calentamiento global.

La variabilidad interanual (subidas y bajadas pequeñas) es visible, pero la tendencia general es ascendente.

SSP1-2.6: Escenario de desarrollo sostenible con bajas emisiones: Aumento moderado, parte de aproximadamente 22.5 °C en 2020 y llega cerca de 24 °C hacia 2100. Muestra el menor incremento, evidenciando el impacto positivo de una fuerte acción climática.

SSP2-4.5: Escenario intermedio de estabilización: Inicia alrededor de 22.5 °C y termina hacia los 25.5 °C. Representa un camino intermedio donde las políticas climáticas tienen un impacto limitado.

SSP3-7.0: Escenario de fragmentación regional y altas emisiones: Termina cerca de 26.5 °C. Aumento más pronunciado, con riesgos mayores para los ecosistemas y la agricultura.

SSP5-8.5: Escenario de desarrollo intensivo en combustibles fósiles: Muestra el mayor incremento, alcanzando hasta 28.5–29 °C al final del siglo.

Implica impactos severos en la salud, productividad agrícola y disponibilidad de agua.

La figura 16, muestra la proyección de la temperatura mínima anual en el municipio de Salazar, bajo cuatro escenarios de cambio climático (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) desde el año 2020 hasta 2100.

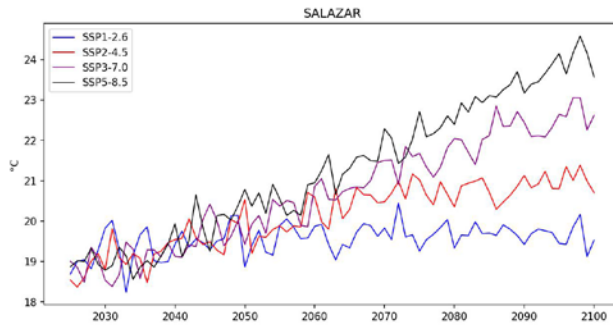


Figura 16. Proyecciones de temperatura mínima anual para la estación Salazar.

Fuente. Autores, 2025

Se observa una tendencia clara de aumento en la temperatura mínima anual en todos los escenarios. La magnitud del aumento varía dependiendo del escenario, reflejando diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero.

SSP1-2.6 Escenario optimista con bajas emisiones: Aumento gradual desde unos 19 °C en 2020 a cerca de 20.5 °C en 2100. Refleja los efectos de una política climática efectiva y sostenible.

SSP2-4.5– Escenario intermedio: Inicia alrededor de 19 °C y finaliza en torno a 22 °C. Representa un escenario de mitigación moderada con cambios significativos, pero controlados.

SSP3-7.0– Escenario de alta fragmentación y elevadas emisiones: Proyecta un aumento más acentuado, alcanzando cerca de 23.5 °C. Indica un impacto mayor sobre el clima local y posiblemente sobre sectores como la agricultura y la biodiversidad.

SSP5-8.5 – Escenario de desarrollo intensivo en combustibles fósiles: Es el escenario más crítico, con la temperatura mínima subiendo hasta alrededor de 24.5

°C. El incremento es de más de 5 °C, lo que implica un fuerte impacto climático

4. CONCLUSIONES

Todos los escenarios muestran un aumento progresivo de la temperatura hacia 2100.

La magnitud del aumento depende del escenario de emisiones: En SSP1-2.6, el aumento es moderado. En SSP5-8.5, el aumento es drástico.

Las oscilaciones en las curvas representan variabilidad interanual, pero la tendencia general es ascendente en todos los casos.

Para todas las estaciones estudiadas se indica que, sin acciones significativas para reducir las emisiones, la región enfrentará incrementos importantes de temperatura, lo que podría afectar la salud, agricultura, infraestructura y otros aspectos del desarrollo local.

Las fluctuaciones reflejan la variabilidad interanual, pero con una tendencia general ascendente, más pronunciada en los escenarios de mayores emisiones.

La Cuenca del río Zulia podría enfrentar un aumento significativo en la temperatura media anual si el mundo sigue trayectorias de altas emisiones. Bajo el escenario más extremo (SSP5-8.5), se evidenciarían impactos climáticos severos, mientras que el escenario sostenible (SSP1-2.6) muestra que es posible limitar el calentamiento a un nivel manejable mediante políticas climáticas ambiciosas y sostenibles. Esto subraya la urgencia de actuar para mitigar el cambio climático y

proteger los ecosistemas y comunidades del departamento.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Camilo Ferro por el apoyo en el desarrollo de la investigación que se referencia en el presente artículo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. American Public Health Association, Washington, D.C:
- Alzate, D.F. (2014). Señales de cambio y de variabilidad climática en las Cuencas de los Ríos Zulia y Pamplonita e identificación de medidas de adaptación potenciales. Tesis de Maestría, Magíster en Ingeniería Ambiental. Universidad de Pamplona. Pamplona.
- Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., y Ramón, J. (2015). Cambio climático y variabilidad climática para el periodo 1981-2010 en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander – Colombia. Luna Azul, (40), 124–153. <https://doi.org/10.17151/10.17151/luaz.2015.40.10>
- Bindoff, N.L., P.A. Stott, K.M. AchutaRao, M.R. Allen, N. Gillett, D. Gutzler, K. Hansingo, G. Hegerl, Y. Hu, S. Jain, I.I. Mokhov, J. Overland, J. Perlwitz, R. Sebbari, and X. Zhang, (2013). Detection and attribution of climate change: From global to regional. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Doschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley, Eds., Cambridge University Press, pp. 867-952, doi:10.1017/CBO9781107415324.022.
- IDEAM. (2010). Cambio Climático en Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa para Colombia usando Modelos Meteorológicos de Alta Resolución Panorama 2011-2100. Nota Técnica IDEAM–METEO/005-2010. Bogotá: Ed. Ruiz, J.F. Recuperado de <http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1371>
- IDEAM. (2013, mayo). Catálogo Nacional de Estaciones. Bogotá, Colombia. Disponible en www.ideam.gov.co
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/annexessanexo-2-1.html
- Semenov M. A. y P. Stratonovitch (1998), Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, Clim. Res., 41, 1-14 (2010).
- Wilby, R. L. y C.W. Dawson (1998), SDSM 4.2 -A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual, (en línea) <https://public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/index.html>. Acceso: 30 de abril.