


Cambio climático de precipitaciones y temperaturas en el periodo 1986-2017 en los Andes tropicales. Zona papera de Boyacá (Colombia)*

Jenny Patricia Sierra Herrera [□] 

Rigaud Sanabria-Marin [§] 

Dalia Soraya Useche Villamizar [¥] 

Resumen

El cambio climático se afecta por la actividad humana principalmente al producir gases de efecto invernadero (GEI) que alteran la atmósfera y aumentan la temperatura media del planeta. En los Andes, cordillera oriental, con importante rango altitudinal, está ubicado el departamento de Boyacá, segundo productor de papa en Colombia, con una zona ligada culturalmente al tubérculo, el cual es vulnerable al cambio climático. Dado lo anterior, es relevante, para la producción de papa, conocer cuál es la distribución del cambio climático en la zona papera de Boyacá. En esta investigación se determina el cambio de precipitación y temperatura en esta zona durante el periodo 1986-2017. Se seleccionaron 37 estaciones con series anuales de precipitación y temperatura, se reconstruyeron los datos faltantes y se estimaron las medias multianuales y los cambios en estos elementos. Se zonificaron las variables climáticas y sus cambios por interpolación espacial. Se encontraron cambios, diferenciales espacialmente, de temperatura de entre -1,2 °C y 1,6 °C y de precipitación de entre -40 % y 60 %. Se concluye que existe variabilidad espacial a causa del cambio climático en la zona papera de Boyacá, con aumento y disminución tanto de precipitación como de temperatura en cerca del 50 % del territorio.

Palabras clave: cambio climático, Colombia, montaña, precipitación, temperatura, zona agrícola, zona tropical.

Ideas destacadas: artículo de investigación donde se aborda el análisis a escala regional del cambio climático en la zona papera de Boyacá centrado en dos variables: precipitación y temperatura, en un periodo de estudio de 32 años (1986-2017). Se obtiene la zonificación de las variables climáticas y sus cambios.



RECIBIDO: 28 DE JUNIO DE 2023. | EVALUADO: 19 DE OCTUBRE DE 2023. | ACEPTADO: 20 DE MAYO DE 2024.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Sierra Herrera, Jenny Patricia; Sanabria-Marin, Rigaud; Useche Villamizar, Dalia Soraya. 2024. "Cambio climático de precipitaciones y temperaturas en el periodo 1986-2017 en los Andes tropicales. Zona papera de Boyacá (Colombia)". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 33 (2): 450-466. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v33n2.109773>.

* Resultados de Investigación del trabajo de grado "Cambio climático y producción de papa en zona papera de Boyacá 1986-2017", de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

□ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá - Colombia. ✉ jenny.sierrao2@uptc.edu.co - ORCID: 0000-0001-7709-7566.

§ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá - Colombia. ✉ rigaud.sanabria@uptc.edu.co - ORCID: 0000-0003-3914-3407.

¥ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá - Colombia. ✉ dalia.useche@uptc.edu.co - ORCID: 0000-0003-0594-023X.

✉ Correspondencia: Rigaud Sanabria-Marin, Escuela de Ingeniería Ambiental - UPTC. Avenida Central del Norte 39-115, Tunja - Colombia.

Climate Change of Precipitation and Temperatures in the Period 1986-2017 in the Tropical Andes. Zone Mumps from Boyacá (Colombia)

Abstract

Climate change is affected by human activity mainly by producing greenhouse gases (GHG) that alter the atmosphere and increase the average temperature of the planet. In the Andes, an eastern mountain range, with an important altitudinal range, is located the department of Boyacá, the second largest potato producer in Colombia with an area culturally linked to the tuber, which is vulnerable to climate change. Given the above, it is relevant, for potato production, to know the distribution of climate change in the potato zone of Boyacá. In this research, the change in precipitation and temperature in this area during the period 1986-2017 is determined. 37 stations with annual precipitation and temperature series were selected, missing data were reconstructed, multi-year averages and changes in these elements were estimated. The climatic variables and their changes were zoned by spatial interpolation. Spatially differential changes were found in temperature between $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ and precipitation between -40% to 60% . It is concluded that there is spatial variability due to climate change in the mumps zone of Boyacá, with an increase and decrease in both precipitation and temperature in about 50% of the territory.

Keywords: climate change, Colombia, mountain, precipitation, temperature, agricultural zone, tropical zone.

Highlights: research article where the regional scale analysis of climate change in the Boyacá paper zone is addressed, focused on two variables: precipitation and temperature, in a study period of 32 years (1986-2017). The zoning of climatic variables and their changes is obtained.

Mudanças climáticas de precipitação e temperaturas no período 1986-2017 nos Andes tropicais. Zona mumps de Boyacá (Colômbia)

Resumo

As mudanças climáticas são afetadas pela atividade humana principalmente pela produção de gases de efeito estufa (GEE) que alteram a atmosfera e aumentam a temperatura média do planeta. Na cordilheira dos Andes, cordilheira oriental, com uma importante faixa altitudinal, está localizado o departamento de Boyacá, o segundo maior produtor de batata da Colômbia com uma área culturalmente ligada ao tubérculo, vulnerável às mudanças climáticas. Diante do exposto, é relevante, para a produção de batata, conhecer a distribuição das mudanças climáticas na zona batateira de Boyacá. Nesta pesquisa é determinada a mudança na precipitação e temperatura nesta área durante o período 1986-2017. Foram selecionadas 37 estações com séries anuais de precipitação e temperatura, foram reconstruídos dados faltantes, estimadas médias plurianuais e alterações nesses elementos. As variáveis climáticas e suas alterações foram zoneadas por interpolação espacial. Mudanças espacialmente diferenciais foram encontradas na temperatura entre $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e precipitação entre -40% a 60% . Conclui-se que existe variabilidade espacial das mudanças climáticas na zona da caxumba de Boyacá, com aumento e diminuição tanto da precipitação quanto da temperatura em cerca de 50% do território.

Palavras-chave: mudanças climáticas, Colômbia, montanha, precipitação, temperatura, zona agrícola, zona tropical.

Ideias destacadas: artigo de pesquisa onde se aborda a análise em escala regional da mudança climática na zona do papel de Boyacá, focada em duas variáveis: precipitação e temperatura, em um período de estudo de 32 anos (1986-2017). Obtém-se o zoneamento das variáveis climáticas e suas mudanças.

Introducción

Para algunos investigadores el cambio climático es de origen natural, y se sustentan en los periodos de glaciaciones y periodos cálidos producidos en la historia de la tierra (Isaza y Campos 2007, 54; Robinson, Noah y Soon 2007, 79). En este sentido se define como “la modificación del clima respecto al historial climático global o regional” (Bascopé 2013, 10). El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático —IPCC por sus siglas en inglés— lo define como: “la variación estadística del estado medio del clima durante un periodo largo (decenios o más)” (IPCC 2013, 6). Para otros autores es el resultado de la dinámica natural pero acelerada por el hombre (Mora Motta 2014, 7; Dickie y Coronel 2016, 207; Gómez-Rendón 2016, 6; Sánchez-Zavaleta 2016, 128). De acuerdo con otro autor:

la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático —CMCC— en su artículo 1 lo define como el cambio del clima atribuido directa e indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en periodos de tiempo comparable. (Aparicio Porres 2019, 1)

En estudios realizados en diferentes regiones del mundo, sobre las afectaciones del cambio climático, se encuentra relación con enfermedades en animales (Oyhantçabal, Vitale y Lagarmilla 2010), con la extinción de una de cada seis especies para fines del siglo XXI (Bucciarelli et ál. 2020), con disminución en las lluvias, suelos más áridos, afectación agrícola y la agudeza de desnutrición en África (Mechiche-Alami y Abdi 2020).

En América Latina también se relaciona con la pérdida de glaciares y el aumento en la temperatura local como respuesta al calentamiento global (Magrin 2015, 7). Es así como se estima que para los Andes tropicales entre 1939 y 2006 la temperatura aumentó 0,7 °C y la precipitación en la zona norte tuvo una tendencia a subir entre 1950 y 1994 (Vuille 2013, 2). Además, se registró aumento de entre 0,5 °C y 3,0 °C en la temperatura media entre 1901 y 2012 (Bouroncle et ál. 2014), “así como [existe] un aumento de las temperaturas extremas en América Central y en la zona tropical de América del Sur” (Cramer et ál. 2017, 10).

“La cordillera de los Andes es una cadena montañosa que se extiende en el oeste de Suramérica desde Argentina hasta Colombia” (Cuervo, Pérez y Lamus 2015) y Venezuela. De acuerdo con un estudio realizado respecto a los Andes y los efectos relacionados con el cambio climático, este último será “significativo en unos años en

países como Brasil, Bolivia, Ecuador, Venezuela, Guyana y Colombia” (Lozano-Povis, Alvarez-Montalván y Moggiano 2021, 101), ya que tendrá efectos en los cuerpos de agua, en la erosión de suelos, en la producción de papa y maíz y en la desaparición de especies, según Lozano-Povis, Alvarez-Montalván y Moggiano (2021).

En Colombia, algunos investigadores indican que la tendencia actual es a aumentar la temperatura en 0,1 °C por decenio (Benavides y Rocha 2012, 13; Pabón Caicedo 2012, 261; Cortés Bello 2013, 8). Ruiz (2010) “proyecta aumento de 1,4 °C para el periodo 2011-2040, de 2,4 °C entre 2041 y 2070 y de 3,2 °C para el periodo 2071-2100, con disminución de la precipitación en la región Caribe y Andina” como se citó en Pabón Caicedo (2012, 275).

[El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia] IDEAM (2018a, 43, citando a Hulme y Sheard 1999) advierte que hacia el año 2050 la precipitación anual en el sector centro, sur y suroccidente del territorio colombiano aumentaría entre un 2 % y 10 % del volumen anual 1961-1990; en el sector norte y nororiente disminuiría hasta en un 4 %. Hacia el 2080 el aumento sería mayor en el suroccidente y puede alcanzar un 28 %, mientras que las disminuciones en la región Caribe podrían alcanzar el 8 % del valor de referencia del periodo 1961-1990.

[El] IDEAM indica que una evidencia importante del cambio climático en el país es la reducción del área de los glaciares de montaña; entre 1940 a 1985 desaparecieron en Colombia ocho glaciares y actualmente solo existen cuatro nevados sobre estructuras volcánicas (Huila, Ruiz, Santa Isabel, Tolima) y dos sierras nevadas (Cocuy y Santa Marta). (IDEAM – UNAL 2018, 42)

Además, se estima que los glaciares desaparecerán en su totalidad en la década 2030-2040 (IDEAM – UNAL 2018, 42) y el 75 % de los páramos también desaparecerán, según Greenpeace, (2009, 5).

El cultivo de la papa en Boyacá es muy importante tanto en el ámbito social como en su desarrollo económico. Varios autores coinciden en señalar que: en lo social porque es un cultivo de tradición y en lo económico porque constituye uno de los sistemas productivos principales de la economía donde se desarrolle (Arias y Antosová 2015, 108; Lizarazo, Hurtado y Rodríguez 2015, 99), al tener un papel destacado en la canasta familiar y en la seguridad alimentaria (Fedepapa 2010, 3).

La estimación de la sostenibilidad de los agroecosistemas es una preocupación prioritaria de muchos investigadores que han propuesto diferentes atributos

para evaluar la productividad, estabilidad y adaptación de los agroecosistemas al cambio climático (Useche y Márquez 2015, 9). Las inadecuadas prácticas agrícolas y el avance y ampliación de frontera agropecuaria destruyen la biodiversidad, desecan humedales y disminuyen interacciones ecológicas de gran importancia, lo cual hace necesaria la conversión de prácticas agropecuarias convencionales hacia sistemas productivos sostenibles con el fin de favorecer la adaptación al cambio climático.

Dada la importancia de la producción de papa para el departamento de Boyacá, y la necesidad de conocer a escala regional el cambio climático que presenta la zona papera del departamento, en esta investigación se buscó analizar la diferenciación espacial del cambio de precipitación y temperatura en las tres últimas décadas. Se plantea la hipótesis, a partir de los datos analizados del estado de arte, de “una disminución de las precipitaciones y aumento de las temperaturas en la zona papera de Boyacá”.

Metodología

Área de estudio

Boyacá, departamento de Colombia, ubicado al nororiente sobre la cordillera oriental de los Andes, cuenta con una importante “variedad topográfica con diversidad de pisos térmicos. El departamento tiene una superficie de 23.189 km² que representa el 2,03 % del territorio nacional. Su capital Tunja y su división política y administrativa la componen 123 municipios” (Reina y Rubio 2016, 3). Tres provincias conforman la zona papera de Boyacá de acuerdo con la Secretaría de Fomento Agropecuario de la Gobernación de Boyacá (Secretaría de Agricultura 2014). Estas provincias se presentan en la Figura 1, denominadas Centro, Tundama y Sugamuxi, y hacen parte del altiplano cundiboyacense (Estupiñán Pedraza 2014).

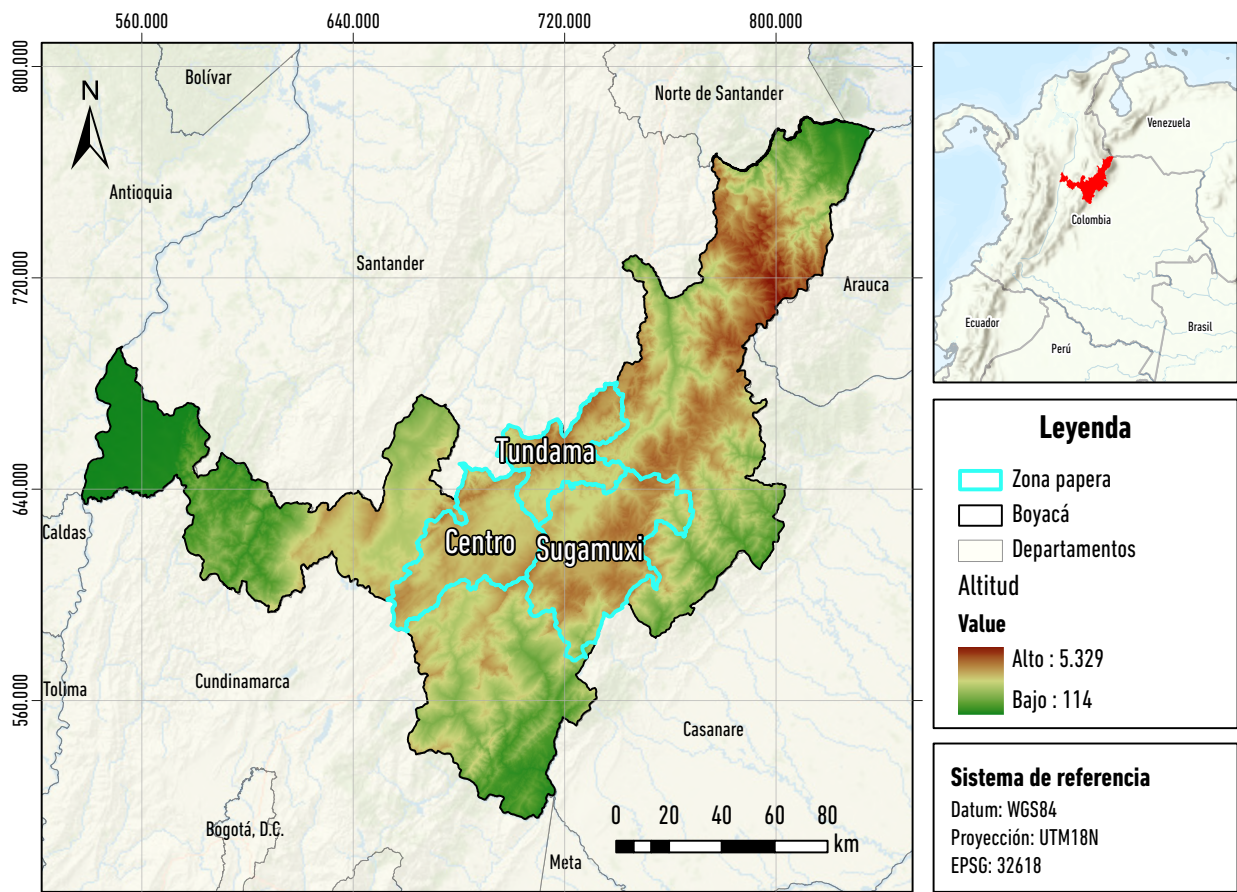


Figura 1. Delimitación zona papera de Boyacá. Datos: a partir de imagen satelital Landsat TM5 (IGAC 2019).

Boyacá presenta un régimen de lluvia variado, observándose, en la zona de estudio, un comportamiento bimodal con una época seca al principio de año y otra a la mitad, siendo más fuerte la primera. La temporada de lluvia se centra en marzo-mayo y septiembre-noviembre. El departamento ha presentado descenso de temperatura mínima hasta valores de $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la máxima registrada ha llegado a valores de $28,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IDEAM 2005). Es importante resaltar la alta variación de la temperatura diaria, sobre todo durante la época de menos lluvia con la aparición de heladas en regiones como Tundamá, Sugamuxi y Centro (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Gobernación de Boyacá 2006).

Selección de estaciones climáticas y periodo de estudio

De 42 estaciones distribuidas en la zona papera de Boyacá, se emplearon datos meteorológicos de precipitación y temperatura de 37 estaciones, facilitados por el IDEAM (2018a). En la selección de estaciones se tuvo en cuenta, de acuerdo con el periodo de estudio seleccionado 1986-2017, que las estaciones presentaran por lo menos el 80 % de los datos del periodo. De estas 37 estaciones, se emplearon 9 series para los análisis de temperatura. En la Tabla 1 se exponen las estaciones analizadas. En variables se indica con PT si la estación presenta valores de precipitación y con TS si presenta valores de temperatura. Se muestran 23 estaciones pluviométricas, cinco pluviográficas, tres climatológicas principales, tres climatológicas ordinarias y tres agrometeorológicas.

Tabla 1. Estaciones de la zona de estudio

N°	Código	Tipo de estación	Variables	Elevación (m.s.n.m.)	Municipio
1	24010830	Pluviográfica	PT*	2.985	Chíquiza
2	24010840	Pluviométrica	PT	3.195	Motavita
3	24010870	Pluviométrica	PT	2.200	Paipa
4	24015220	Climatológica Principal	PT, TS**	2.600	Samacá
5	24025030	Pluviográfica	PT	2.700	Duitama
6	24030120	Pluviográfica	PT	2.678	Pesca
7	24030140	Pluviométrica	PT	2.720	Siachoque
8	24030190	Pluviométrica	PT	2.970	Monguí
9	24030230	Pluviométrica	PT	2.470	Iza
10	24030310	Pluviométrica	PT	2.820	Cómbita
11	24030350	Pluviográfica	PT	2.540	Duitama
12	24030380	Pluviométrica	PT	2.860	Sotaquirá
13	24030400	Pluviométrica	PT	2.690	Santa Rosa de Viterbo
14	24030410	Pluviométrica	PT	2.500	Tibasosa
15	24030420	Pluviométrica	PT	2.873	Soracá
16	24030450	Pluviométrica	PT	2.645	Oicatá
17	24030510	Pluviométrica	PT	2.900	Paipa
18	24030540	Pluviométrica	PT	2.486	Firavitoba
19	24030560	Pluviométrica	PT	2.900	Mongua
20	24030640	Pluviométrica	PT	3.200	Gámeza
21	24030650	Pluviométrica	PT	2.833	Tutazá
22	24030770	Pluviométrica	PT	2.836	Toca
23	24030790	Pluviométrica	PT	2.500	Nobsa
24	24030800	Pluviométrica	PT	3.200	Toca

N°	Código	Tipo de estación	Variables	Elevación (m.s.n.m.)	Municipio
25	24030840	Pluviométrica	PT	3.650	Duitama
26	24030860	Pluviométrica	PT	2.800	Tutazá
27	24035040	Climatológica Ordinaria	PT, TS	2.700	Toca (La Copa)
28	24035120	Agrometeorológica	PT, TS	2.485	Duitama
29	24035130	Climatológica Principal	PT, TS	2.690	Tunja
30	24035150	Climatológica Principal	PT, TS	2.530	Belencito
31	24035170	Agrometeorológica	PT, TS	2.470	Paipa
32	24035180	Climatológica Ordinaria	PT, TS	2.548	Tibasosa
33	24035300	Agrometeorológica	PT, TS	2.700	Toca
34	35070020	Pluviométrica	PT	2.630	Ventaquemada
35	35090010	Pluviográfica	PT	3.047	Aquitania
36	35090060	Pluviométrica	PT	1.725	Aquitania
37	35095030	Climatológica Ordinaria	PT, TS	3.000	Cúitiva

Datos: suministrados por el IDEAM (2018a).

Nota: * PT: Precipitación; ** TS: Temperatura.

Se seleccionó el periodo de estudio 1986-2017, de 32 años, por disponibilidad y completitud de datos, tomando en cuenta que se requieren 30 años mínimo para estudios de cambio climático, tal como recomienda la Organización Meteorológica Mundial —OMM— (2017, 19; IDEAM 2018, 18). El periodo de estudio se dividió en dos ventanas de tiempo iguales de 16 años, siendo 1986-2001 y 2002-2017 los periodos para comparación de valores de temperatura y precipitación. Se analizaron los datos atípicos presentes en las series de precipitaciones. Se consideraron como valores atípicos los mayores o menores a 2,5 desviaciones estándar. Los valores atípicos encontrados no fueron eliminados de las series, ya que se identificó que coincidían con el evento La Niña que se presentó en 1999 y 2011 (Montealegre Bocanegra 2007, 23; Benavides y Rocha 2012, 10), por lo cual los valores extremos de las series evidencian afectación en cuanto a aumento de la precipitación en la zona papera de Boyacá por el evento La Niña.

Estimación de valores faltantes

Se hizo un análisis por regresión lineal para el llenado de datos faltantes en las series mensuales de precipitación y temperatura. La regresión-correlación es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial para rellenar la información meteorológica (Carrera-Villacrés et ál. 2016, 82).

Cruz-Roa y Barrios (2019, 111) señalan que un coeficiente de correlación R mayor a 0,5 indica que las estaciones involucradas constituyen un grupo hidrológico homogéneo. Si es superior a 0,5 se considera correlación

positiva de intensa a perfecta (Lind, Manson y Marchal 2004, 830; Carrera-Villacrés et ál. 2016, 85). A fin de garantizar la calidad de los datos estimados de precipitación y temperatura se utilizó la regresión lineal para el llenado de datos cuando se estimó un coeficiente de correlación igual o mayor a 0,83. Este se realizó en un 5 % aproximadamente de datos para precipitación y en un 1 % aproximadamente para temperatura.

Cálculo y zonificación de los cambios en la precipitación y las temperaturas

Se realizaron mapas de distribución espacial para las dos ventanas de tiempo con la herramienta en el sistema de información geográfica de GeoProcesamiento ArcGis. En el caso de precipitaciones, se realizó interpolación con la Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés); se escogió este método de interpolación ya que fue el que menor error presentó. En el caso de temperatura, se estimó el gradiente térmico medio de la zona de estudio. Este gradiente fue empleado junto al modelo de elevación del terreno para la interpolación de las temperaturas.

Se generaron tendencias a través de regresión y comparación de medias multianuales para determinar el cambio climático de precipitación y temperatura (Oñate-Valdivieso y Bosque 2011, 151; Puertas, Carvajal y Quintero 2011, 112; Benavides y Rocha 2012, 21). Para identificar la variación de precipitación entre las dos ventanas de tiempo se estimó el porcentaje de cambio de las medias

multianuales entre los periodos 1986-2001 y 2002-2017. Para identificar la variación de temperatura se calculó la diferencia de temperatura media multianual entre los valores de los dos periodos. Finalmente, se analizaron los cambios de temperatura y precipitación en el periodo de estudio para su interpretación espaciotemporal.

Resultados

A continuación, se presentan las precipitaciones y temperaturas anuales del periodo de estudio (1986-2017) con sus respectivas líneas de tendencia, así como la comparación de estos parámetros entre los dos subperiodos de estudio (1986-2001 y 2002-2017).

Cambio de precipitación periodos 1986-2001 y 2002-2017

Se estimó la tendencia de precipitación por dos métodos, regresión lineal y medias móviles con ventana de 5 datos. En la Figura 2, se expone la tendencia por regresión lineal de los valores originales de precipitación total anual para el periodo 1986-2017. La línea de tendencia sube ligeramente pasando de 926,2 mm en 1986 a 965,5 mm en 2017, diferencia de 39,3 mm, equivalente a un aumento del 4,2 % en 2017 respecto a 1986 para la precipitación en todo el territorio de la zona papera de Boyacá. La tendencia señalada en la línea de regresión lineal presenta una pendiente positiva aproximada de 1,2 mm/año.

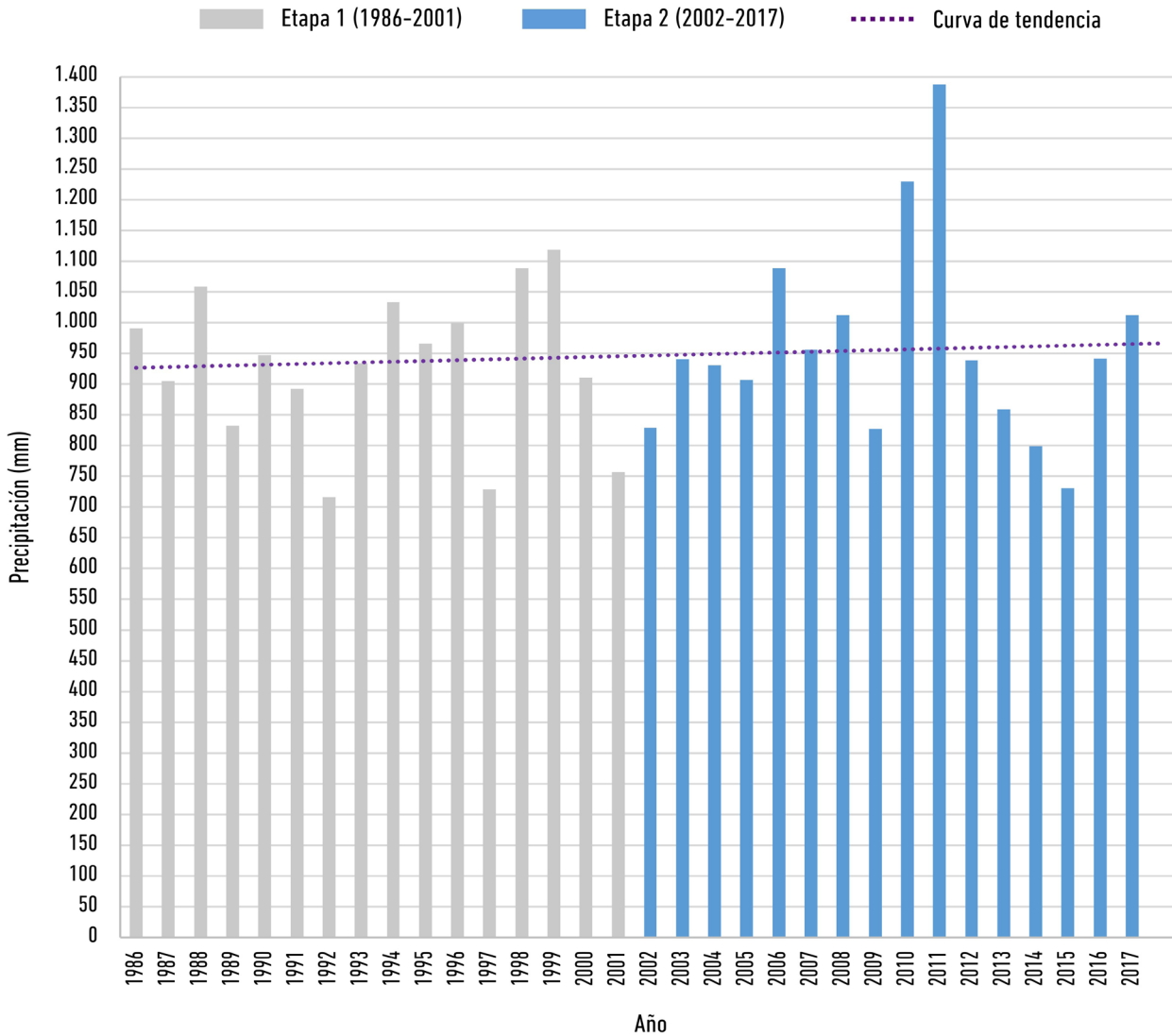


Figura 2. Tendencia de precipitación anual periodo 1986-2017. Datos: IDEAM (2018b).

En la Figura 3, se muestra la tendencia de los valores medios móviles con ventana de 5 datos de precipitación total anual para el mismo periodo. En forma similar a la tendencia anterior, la línea de tendencia sobre medias móviles sube ligeramente pasando de 923 mm en 1986 a 968 mm en 2017, diferencia de 45 mm, equivalente a un aumento del 4,8 % en 2017 respecto a 1986 para la

precipitación en todo el territorio de la zona papera de Boyacá. La tendencia señalada en la línea de regresión lineal presenta una pendiente positiva aproximada de 1,5 mm/año. La línea naranja de medias móviles nos muestra que la variabilidad de las precipitaciones con altos valores en los años 2010 y 2011 influye en el comportamiento de la tendencia ascendente.

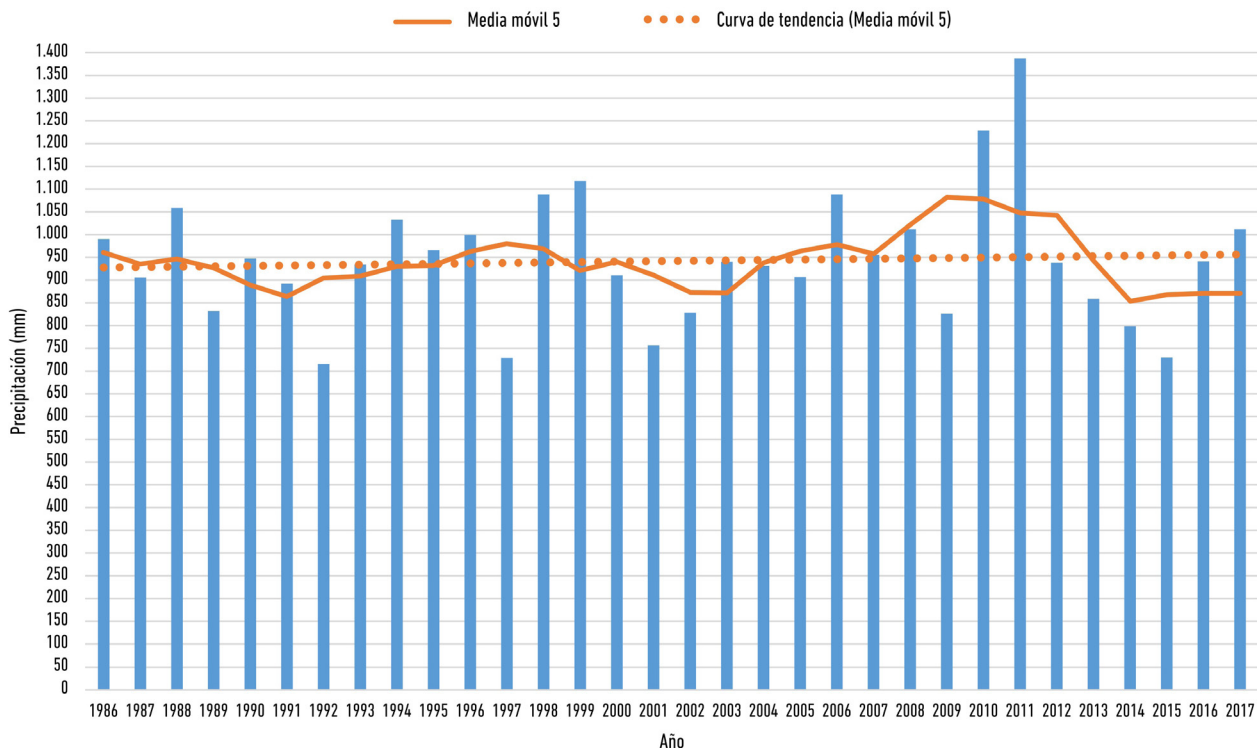


Figura 3. Magnitud y tendencia sobre media móvil de precipitación anual periodo 1986-2017. Datos: IDEAM (2018b).

Los años más lluviosos durante el primer periodo, 1986-2001, son 1986, 1988, 1996, 1998 y 1999 con valores de 990, 1.059, 1.000, 1088 y 1.119 mm, respectivamente. El año que presentó menor precipitación, con 717 mm de agua, fue 1992. En general, el promedio de lluvia para este periodo comprendido por 16 años fue de 930 mm. Para el segundo periodo 2002-2017, el año más lluvioso fue 2011 con 1.387 mm, el menos lluvioso fue 2015 con 730 mm. En general el promedio de lluvia para el segundo periodo fue de 962 mm de lluvia.

Distribución espacial del cambio de precipitación

Se observa en la Figura 4 que disminuye la precipitación en la mayor parte de la zona papera de Boyacá en el segundo periodo respecto al primer periodo de estudio.

En la Figura 5 se comparan los periodos respecto al cambio de precipitación. Se muestra el porcentaje de cambio de las precipitaciones totales multianuales del segundo periodo 2002-2017 respecto al primer periodo 1986-2001. Los valores entre el -10 % y el 10 % son considerados no representativos en cuanto a cambio de precipitación.

Algunas áreas de la zona papera sufrieron disminuciones de hasta un -30 %; en otras, por el contrario, aumentó la precipitación hasta un 60 %. En la mayor parte de la zona no hubo un cambio significativo en la precipitación.

Cambio de temperatura entre periodos de estudio

La Figura 6 evidencia una temperatura media multianual entre 10 °C y 15 °C para el periodo 1986-2001, mientras que, para el segundo periodo, 2002-2017, esta oscila entre 10 °C y 16 °C, aumentando el rango en 1 °C en el segundo periodo respecto al primero.

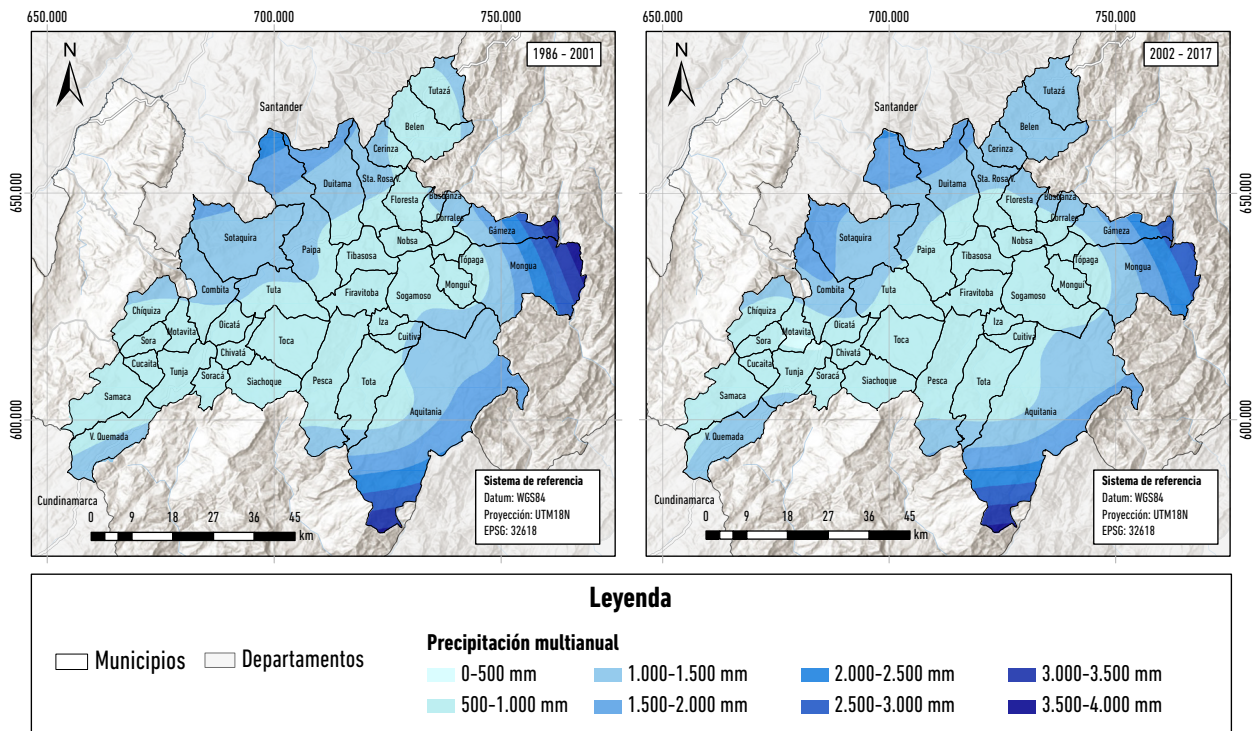


Figura 4. Precipitación multianual de la zona papera de Boyacá 1986-2017. Datos: a partir de IGAC (2019) e IDEAM (2018a).

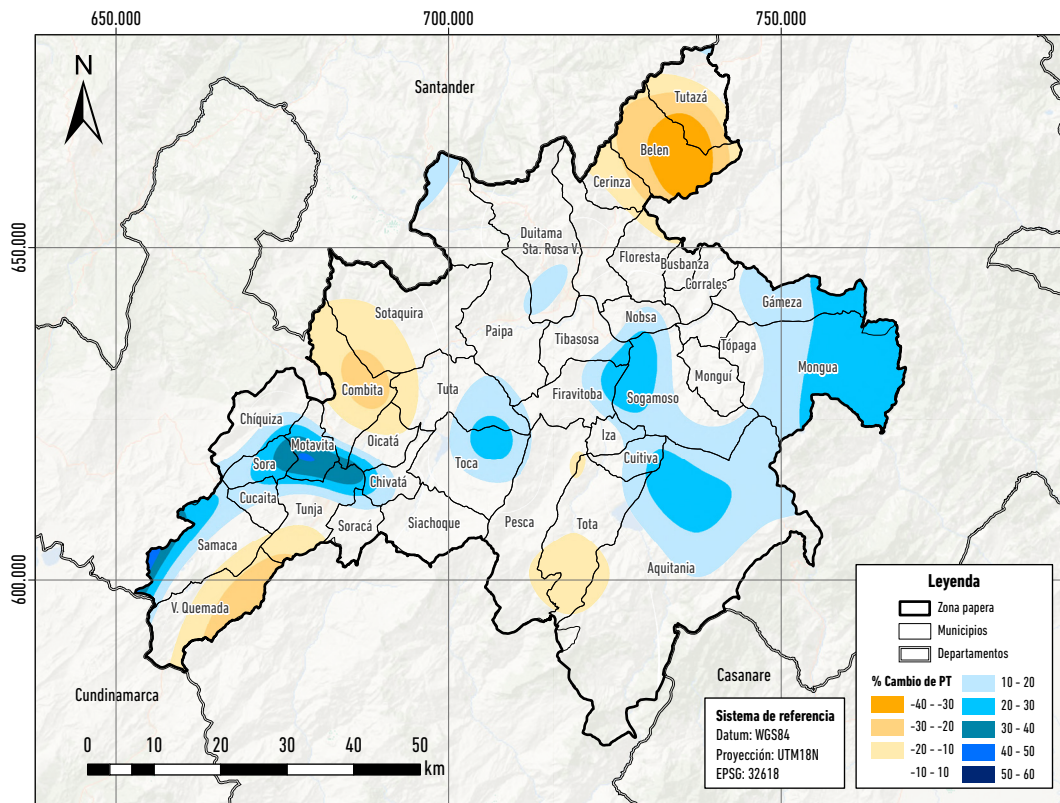


Figura 5. Porcentaje de cambio de precipitación 1986-2017. Datos: a partir de IGAC (2019) e IDEAM (2018b).

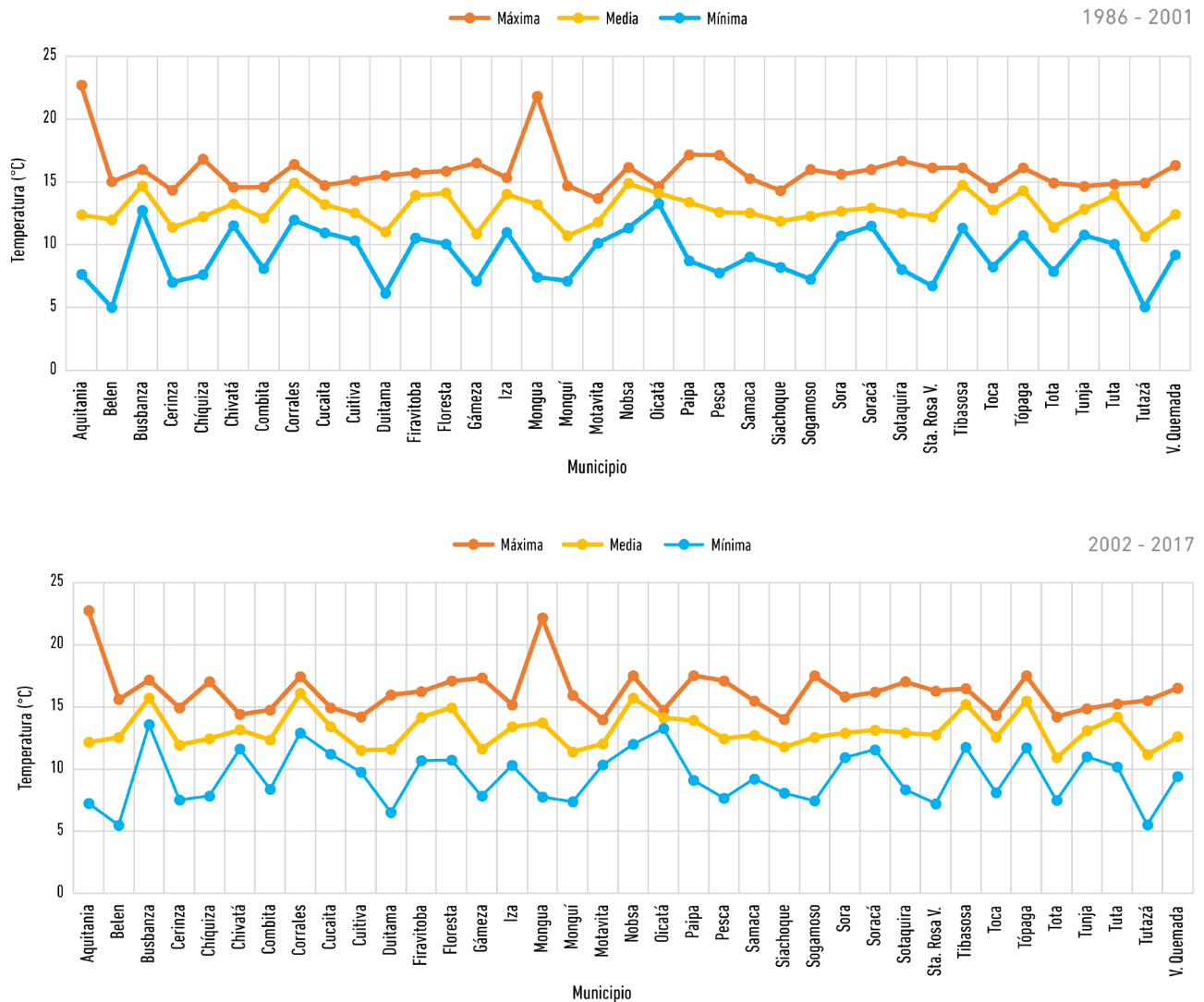


Figura 6. Temperatura media multianual zona de estudio. Datos: a partir de IDEAM (2018b).

Distribución espacial del cambio de temperatura

En la Figura 7 se compara, para los periodos 1986-2001 y 2002-2017, la temperatura media multianual. En el segundo periodo las tonalidades de mayor temperatura aumentan en el área de estudio.

La diferencia de temperatura del segundo periodo con respecto al primero se encuentra en un rango que oscila entre $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, considerando cambio no significativo los valores de diferencia entre $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (véase figura 7). El sector de mayor disminución de temperatura, de $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, se encuentra en Cuitiva. Los sectores de mayor aumento de temperatura están ubicados en límites entre Nobsa, Tópaga, Corrales y Sogamoso hasta con $+1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. En Tunja y sus alrededores en dirección

al Oeste se presenta aumento de temperatura media multianual entre $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Discusión

La zona de estudio hace parte de la Altiplanicie Cundiboyacense (Estupiñán Pedraza 2014, 10), ubicada dentro de los Andes en la cordillera oriental de Colombia (López-Estupiñán 2020). En esta zona, denominada en este artículo como “zona papera de Boyacá”, se evidencian climas muy frío ($6\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $12\text{ }^{\circ}\text{C}$), frío ($12\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $18\text{ }^{\circ}\text{C}$) y templado ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $24\text{ }^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con la clasificación de Caldas (IDEAM 2005, 78). En esta investigación, se considera lo planteado por Cuervo, Pérez y Lamus (2015, 4):

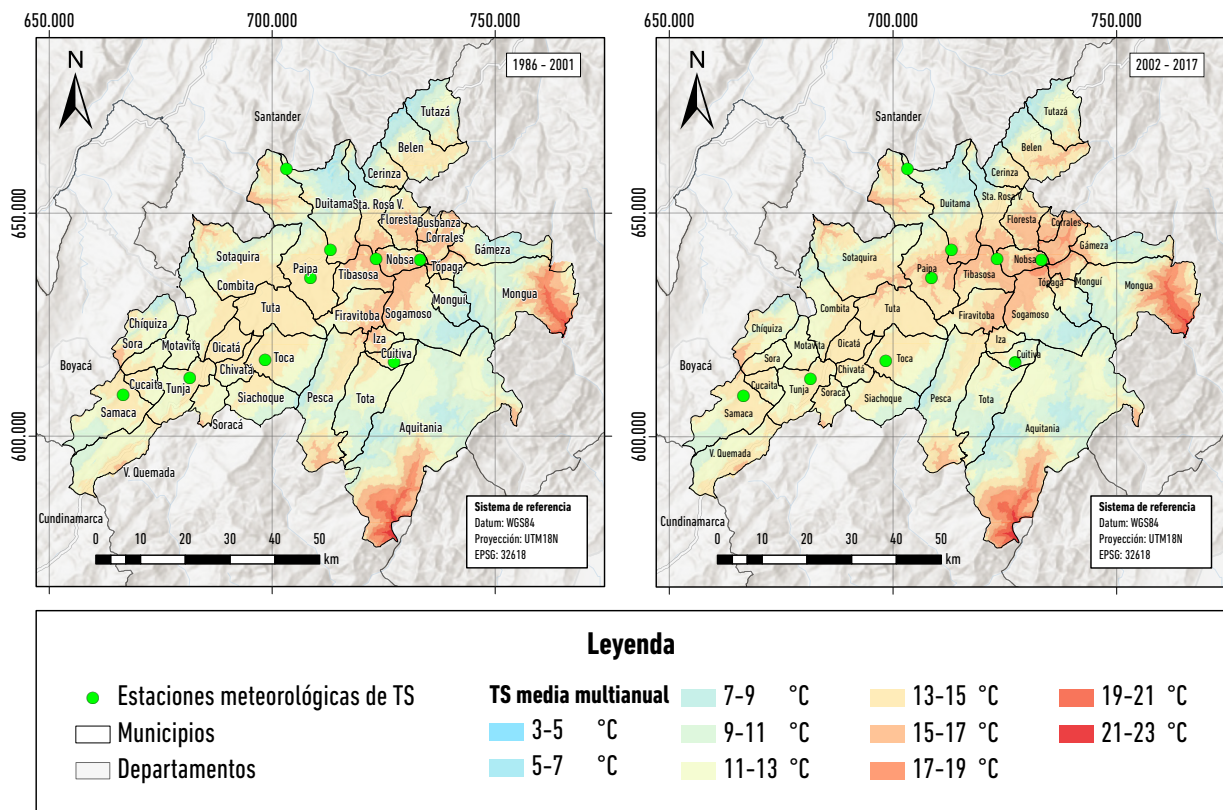


Figura 7. Temperatura de la zona papera de Boyacá 1986-2017. Datos: a partir de IGAC (2019) e IDEAM (2018a). Nota: TS= Temperatura; °C= Grados centígrados.

[1]a formación de los Andes cambió radicalmente el paisaje en Suramérica, por lo cual el estudio de su formación es un tema de bastante debate e interés para investigaciones en varias ramas de la ciencia como la geología, la climatología y la biología.

Esta zona de los Andes colombianos se caracteriza por una amplia variación altitudinal que corresponde con una sobresaliente variación climática principalmente asociada a temperaturas y precipitaciones, lo que igualmente contribuye a una variación en la manifestación del cambio climático.

Durante el periodo de estudio, 1986-2017, el año 1992 fue el más seco respecto a la precipitación, seguido de 1997, lo cual se explica por un evento El Niño moderado que ocurrió entre 1991 y 1992 y un evento de El Niño fuerte para 1997-1998, según el IDEAM (Montealegre Bocanegra 2007, 20). A su vez, los años más lluviosos 1999 y 2011 coinciden con un fenómeno de La Niña fuerte que se presentó en Colombia para la época (Montealegre Bocanegra 2007, 21).

Al comparar las precipitaciones totales multianuales, del periodo 2001-2017 respecto a las del periodo 1986-2001, se observa un aumento de 32 mm, equivalente aproximadamente a un incremento del 32 %, lo que sugiere una proyección a aumentar las precipitaciones en la zona papera de Boyacá, tal como sucedió en el estudio realizado para el norte de los Andes tropicales de Perú, Ecuador y Bolivia (Vuille 2013, 2) y en el sudeste de América del Sur donde se esperan incrementos de entre el 15 % y el 20 % de precipitación (Magrin 2015, 7). Sin embargo, este resultado difiere de lo que se proyecta para Centroamérica y la región centro tropical en donde se esperan disminuciones en la precipitación (Cramer et ál. 2017, 11)

El incremento en el promedio multianual de precipitación en un 32 % coincide con lo estimado por IDEAM (IDEAM – UNAL 2018, 39) en cuanto plantea que la precipitación aumenta para la mayor parte de Colombia. Contrariamente, otros estudios climáticos en Colombia (realizados por Cortés Bello 2013, 8; Benavides y Rocha 2012, 13; Pabón Caicedo 2012, 261) señalan reducciones

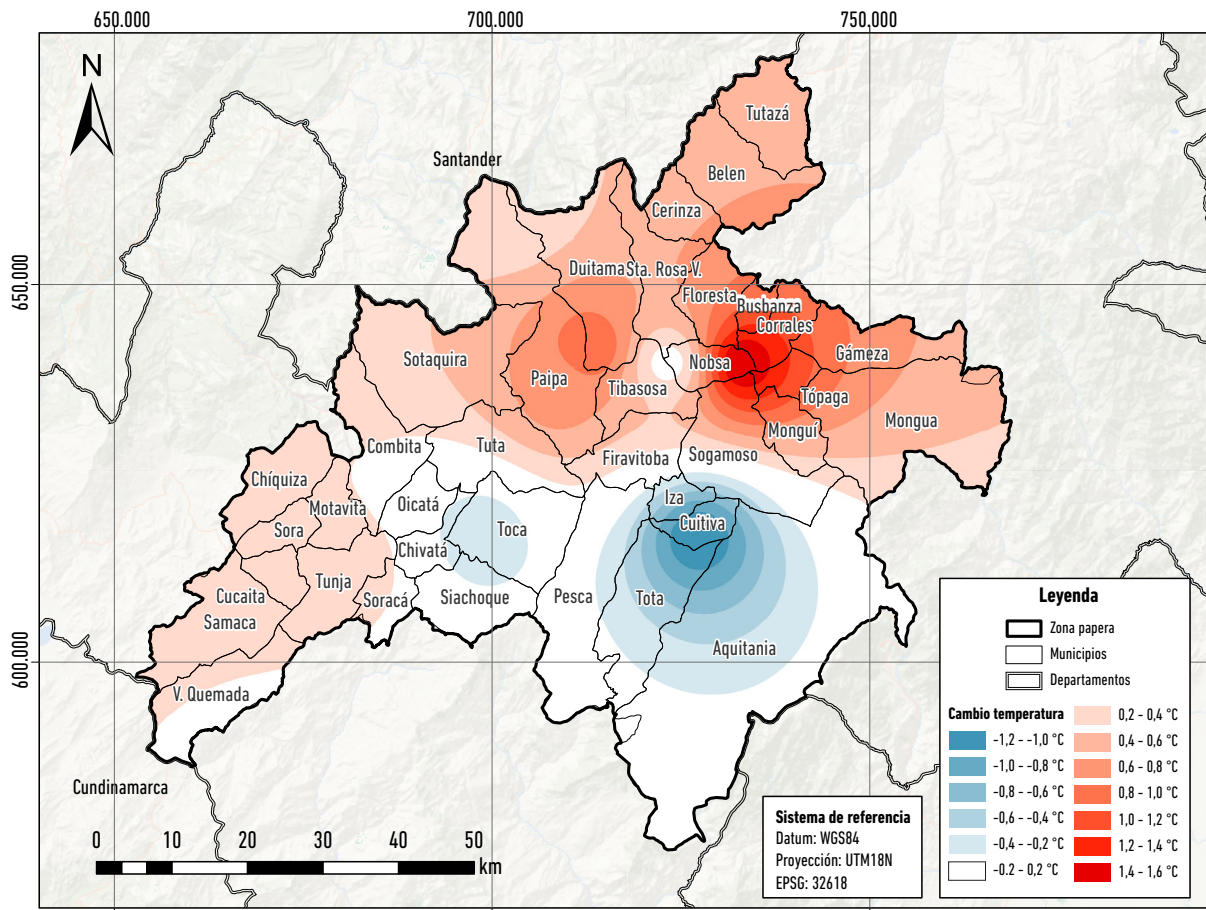


Figura 8. Cambio de temperatura de la zona papera de Boyacá 1986-2017. Datos: a partir de IGAC (2019) e IDEAM (2018b).

en las precipitaciones de hasta el 30 % en la parte interandina y región Caribe.

Barrientos, Leyva y Morales (2009, 69), en entrevista realizada a productores y expertos en Duitama-Boyacá, señalan un incremento en las precipitaciones en su percepción del cambio climático. Sin embargo, en este estudio se encontró que algunas áreas de la zona papera sufrieron disminuciones de hasta un -30 %, mientras que en otras por el contrario aumentó la precipitación hasta un 60 %, lo que concuerda con las estimaciones de Pabón Caicedo (2003, 115), “para alteraciones del volumen anual de precipitación que oscilan entre -15 % y +15 %”.

El hecho de que en este estudio se hayan encontrado diferencias con otros estudios que abarcan la zona o sectores cercanos muestra la importancia de las escalas regionales y locales en los estudios climáticos. La diferenciación espacial sobre el cambio de precipitaciones

encontrado en este estudio ratifica lo afirmado por el IPCC en cuanto a que el cambio climático no será igual en su comportamiento en todas las regiones (Oñate-Valdivieso y Bosque 2011, 147).

Los municipios de Aquitania y Mongua presentan una importante diversidad climática, con clima desde muy frío a templado, este último clima se encuentra en la parte del pie de monte llanero (Estupiñán Pedraza 2014, 167), donde, a pesar de ser municipios conocidos por clima muy frío, presentan áreas donde la temperatura media es de 23 °C.

Se encuentran en la zona papera sectores de enfriamiento o disminución en la temperatura, específicamente en los municipios de Cuítiva y Toca, sectores que coinciden con la presencia de cuerpos de agua como la laguna de Tota y la represa de la Copa, respectivamente. Estos cuerpos de agua refrescan y bajan la temperatura ambiente a través de la evaporación que

se presenta entre el ciclo del agua y la interacción con los componentes naturales del lugar (Zúñiga Palma 2009, 37), lo cual corrobora la necesidad de estudios a nivel de microclimas.

Los sectores donde se presenta mayor incremento de temperatura son Paipa, con aumento de 1 °C, aproximadamente, en el periodo de estudio, y los límites entre Nobsa, Corrales, Tópaga y Sogamoso, con incremento de 1,6 °C, aproximadamente. Estos sectores coinciden con el funcionamiento de zonas industriales, la termoeléctrica de Paipa para el primer caso y la empresa siderúrgica Acerías Paz del Río, la cementera Holcim, Argos y otras fábricas para el segundo caso. Lo que sugiere una relación entre la contaminación, producto de los gases de efecto invernadero (GEI) por producción industrial y tránsito vehicular sujeto al desarrollo empresarial, y el aumento de la temperatura del lugar (Uribe Botero 2015, 13).

Si bien existe en la zona papera de Boyacá durante el periodo de 1986 a 2017 una importante diferenciación espacial en el cambio de temperatura, predomina en un 35 % del área el aumento entre 0,2 °C y 0,5 °C, es decir, un aumento decenal de entre 0,06 °C y 0,16 °C, lo cual corresponde con la tendencia de aumento decenal de temperatura de 0,1 °C estimada por Benavides y Rocha (2012, 13); Pabón Caicedo (2012, 261) y Cortés Bello (2013, 8).

Conclusiones

En el periodo 1986-2017 hubo cambio climático de precipitación principalmente en los municipios de Ventaquemada, Combita, Tutazá, Belén, Cerinza y Tota con pérdidas desde el 10 % hasta el 40 %, a diferencia de Samacá, Sora, Motavita, Toca, Nobsa y algunas partes de Aquitania, Mongua, Gameza y Duitama que presentaron un incremento de las precipitaciones cercano al 60 %. En aproximadamente la mitad de la zona papera de Boyacá no se evidencia un cambio de precipitación significativo.

El porcentaje de cambio de precipitaciones del periodo 2002-2017 respecto al periodo 1986-2001 evidencia una importante variabilidad espacial en la zona papera de Boyacá, lo que indica la necesidad de realizar estudios regionales y locales del cambio climático, que permitan una información temporal y espacialmente más precisa para la toma de decisiones diferenciales como la productividad agrícola, entre otros aspectos de importancia territorial.

Hay aumentos de la temperatura media para algunos sectores de la zona papera que comprenden los municipios de Sotaquirá, Paipa, Duitama, Santa Rosa, Cerinza, Belén, Tutazá, Floresta, Mongua y Gameza con aumento de entre 0,4 °C y 0,8 °C y de más de 1 °C en Nobsa, Tópaga, Busbanzá y Corrales. Los sectores donde se generó mayor aumento de la temperatura coinciden con corredores industriales que por la contaminación que generan posiblemente contribuyen con este aumento de temperatura. Contrariamente, se presentó disminución en la temperatura media en Iza, Tota, Aquitania entre -0,8 °C y -0,4 °C y en Cúitiva de -1,2 °C a -0,8 °C. Los dos sectores extremos de cambio de temperatura en el periodo fueron Cúitiva con -1,2 °C, y la frontera entre Nobsa, Corrales y Tópaga con +1,6 °C. Aproximadamente en un tercio de la zona papera no se evidencia un cambio de temperatura en el periodo de 1986 a 2017.

En la zona papera de Boyacá, con alta variación altitudinal y climática relacionadas, propias de los Andes Colombianos, se encontró para un periodo de 32 años un cambio climático altamente diferenciado espacialmente a través de precipitaciones y temperaturas.

Agradecimientos

Investigación realizada en el marco del Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente (GIGA) como parte del proyecto de investigación “Cambio climático y producción de papa en zona papera de Boyacá 1986-2017” de la maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Los investigadores agradecemos y hacemos un profundo reconocimiento al GIGA y a la UPTC por todo el apoyo prestado.

Igualmente, agradecemos al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), por facilitarnos los datos hidroclimáticos de la zona papera de Boyacá, así como al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) por la disposición en su plataforma de información espacial.

Referencias

- Aparicio Porres, Juan José. 2019. “una aproximación al efecto del cambio climático en los camélidos domésticos en Bolivia”. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales RIIARN* 6 (1): 87-93.

- Arias Gómez, Helmuth Yesid y Gabriela Antosová. 2015. "Perfil espacial de la economía boyacense". *Apuntes del Cenes* 34 (59): 93. <https://doi.org/10.19053/22565779.3538>
- Barrientos, Juan Carlos, German Leyva y Juan Camilo Morales. 2009. "Efectos del cambio climático sobre la oferta y precios de cebolla de bulbo. Caso del municipio Duitama, Boyacá (Colombia)". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 3 (1): 69-80. <https://doi.org/10.17584/rcch.2009v3i1.1200>
- Bascopé, Andrés. 2013. "Estudio: 'cambio climático impacto en la agricultura heladas y sequía'". *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA*. Consultado el 2 de octubre de 2023. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>
- Benavides Ballesteros, Henry Oswaldo y Carlos Enrique Rocha Enciso. 2012. "Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climático de Colombia (años y décadas más caliente y las más y menos lluviosas)". *IDEAM-METEO/001-2012 Nota Técnica del IDEAM*, 1-26.
- Bouroncle, Claudia, Pablo Imbach, Peter Läderach, Beatriz Rodríguez, Claudia Medellín y Emily Fung. 2014. "La agricultura de Honduras y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?" *CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)*, 8. Consultado el 30 de octubre de 2023. https://www.cac.int/sites/default/files/An%C3%A1lisis_de_Vulnerabilidad_Honduras.pdf
- Bucciarelli, Gary M., Morgan A. Clark, Katy S. Delaney, Seth P. D. Riley, H. Bradley Shaffer, Robert N. Fisher, Rodney L. Honeycutt y Lee B. Kats. 2020. "Amphibian Responses in the Aftermath of Extreme Climate Events". *Scientific Reports* 10: 3909. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60122-2>
- Carrera-Villacrés, David Vinicio, Paulina Valeria Guevara-García, Lizbeth Carolina Tamayo-Bacacela, Ana Lucía Balarezo-Aguilar, César Narváez-Rivera y Diana Rosa Morocho-López. 2016. "Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media". *Idesia (Arica)* 34 (3): 79-88. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>
- Cortés Bello, César Andrés. 2013. *Uso del modelo Aguacrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Proyecto de cooperación técnica TCP/COL/3302. FAO y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.fao.org/4/i3428s/i3428s.pdf>
- Cramer, Laura, Sophia Huyer, Angela Lavado, Ana Maria Loboguerrero, Deissy Martínez Barón, Mary Nyasimi, Timothy Thomas, Philip Thornton, Jacob Van Etten y Mark Van Wijk. 2017. "Métodos propuestos para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana". *CCAFS Working Paper*, no. 196: Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change.
- Cruz-Roa, Andrés Felipe y Miguel Barrios. 2019. "Estimación de datos faltantes de lluvia mensual a través de la asimilación de información satelital y pluviométrica en una cuenca andina tropical". *Idesia (Arica)* 36 (3): 107-117. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292018005001601>
- Cuervo Gómez, Aura María, Nicolás Pérez Consuegra y Felipe Lamus Ochoa. 2015. "Levantamiento de la cordillera oriental de los Andes colombianos". *Hipótesis: Apuntes Científicos Uniandinos*, no. 19, 66-73.
- Dickie, Maria José y Alejandra Coronel. 2016. "Cambio climático: breve historia y tendencias en la región húmeda". *Cátedra de Climatología Agrícola FCA-UNR*, 2072012. <https://es.scribd.com/document/587610291/Inta-27-Cambio-Climatico-Historia-y-Tendencias-en-La-Region-Humeda>
- Estupiñán Pedraza, Lorena Andrea. 2014. "La provincia en Boyacá: unidad territorial, histórico-funcional de planificación en la gestión del desarrollo regional endógeno, 2004-2011". Monografía de grado presentada para optar al título de Politólogo, Universidad del Rosario, Bogotá. https://doi.org/10.48713/10336_3017
- Fedepapa (Federación Colombiana de Productores de Papa). 2010. "Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia". Consultado el 24 de octubre de 2023. <https://sioc.minagricultura.gov.co/documentoscontexto/p008-nuevo%20acuerdo%20de%20competitividad%20papa.pdf>
- Gómez-Rendón, Claudia. 2016. "Capacidad de adaptación de Colombia a los efectos del cambio climático sobre el agua". Tesis de doctorado en Geografía, convenio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC-IGAC, Bogotá.
- Hulme, M. y N. Sheard. 1999. "Climate Change Scenarios for the Northern Andes". *Climatic Research Unit (CRU)*.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2018a. *Metodología de la operación estadística variables meteorológicas*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Consultado el 30 de junio de 2023.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2018b. "Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos". Datos Abiertos. Consultado el 18 de abril de 2021. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM – UNAL (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Universidad Nacional de Colombia). 2018. *La variabilidad climática y el cambio climático en Colom-*

- bia. Bogotá: IDEAM - UNAL. Consultado el 14 de junio de 2021. <https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad.pdf>
- IDEAM (Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales). 2005. "Atlas Climatológico de Colombia". Datos abiertos. Consultado el 4 de abril de 2021. <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2019. "Datos Abiertos IGAC; Catalogo Digital". Consultado el 23 de marzo de 2022. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) 2013. "Glosario". En *Cambio Climático 2013. Bases físicas*. Editado por Serge Planton, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yua Xia, Vincent Bex y Pauline M. Midgley, 185-204. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press - NY.
- Isaza Delgado, José y Diógenes Campos Romero. 2007. *Cambio climático: glaciaciones y calentamiento global*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/1987#.Xlb4Ef3sl3w.mendeley>
- Lind, Douglas A., Robert Deward Manson y William G. Marchal. 2004. *Estadística para administración y economía*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Lizarazo H., Sonia Patricia, Germán Gonzalo Hurtado R. y Luis Felipe Rodríguez C. 2015. "Análisis técnico económico de la producción de bioetanol a partir de papa a nivel de laboratorio en Boyacá". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9 (1): 97-111. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3749>
- López-Estupiñán, Laura. 2020 "Siembra de agua, mitología y cerámica en el altiplano Cundiboyacense". *Cuadernos de Arqueología* 29: 259-274. <https://doi.org/10.15581/o12.29.011>
- Lozano-Povis, Arlitt, Carlos E. Alvarez-Montalván y Nabilt Moggiano. 2021 "Climate Change in the Andes and its Impact on Agriculture: A Systematic Review". *Scientia Agropecuaria* 12 (1): 101-118. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Magrin, Graciela. 2015. *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Cepal. Consultado el 22 de agosto de 2021. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Mechiche-Alami, Altaaf y Abdulhakim M. Abdi. 2020. "Agricultural Productivity in Relation to Climate and Cropland Management in West Africa". *Scientific Reports* 10 (1): 3393. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59943-y>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Gobernación de Boyacá. 2006. *Desarrollo de la fruticultura en Boyacá*. Tunja: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Gobernación de Boyacá, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola (FNFH), Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol).
- Montealegre Bocanegra, José Edgar. 2007. *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá: IDEAM. Consultado el 7 de febrero de 2023. <https://acortar.link/H3TeBA>
- Mora Motta, Alejandro. 2014. "El cambio climático y la inequidad en Colombia: tendencias recientes y perspectivas futuras". Tesis de maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2017. *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas*. OMM no. 1203. Geneva: OMM. Consultado el 19 de marzo de 2021. <https://acortar.link/T3eFDk>
- Oñate-Valdivieso, Fernando y Joaquín Bosque Sendra. 2011. "Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur". *Estudios Geográficos* 72 (270): 147-172. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201107>
- Oyhantçabal, Walter, Edgardo Vitale y Patricia Lagarmilla. 2010. "El cambio climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal". *Conf. OIE*, 169-177. Consultado el 14 de octubre de 2023. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/2010-159-177-oyhantcabal-e.pdf>
- Pabón Caicedo, José Daniel. 2003. "El cambio climático global y su manifestación en Colombia". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, no. 12, 111-119.
- Pabón Caicedo, José Daniel. 2012. "Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 36 (139): 261-278.
- Puertas, Olga, Yesid Carvajal y Mauricio Quintero. 2011. "Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta-media del río Cauca, Colombia". *Dyna* 78 (169): 112-120.
- Reina Aranza, Yuri y Karen Rubio Ramírez. 2016. "Boyacá: un contraste entre competitividad, desempeño económico y pobreza". *Documentos del trabajo sobre economía regional*, no. 245, 86.
- Rivera, Ma. 2009. "El cambio climático: futuro negro para los páramos". *Distrito Federal, México. Consejo Nacional Para La ...*, 2009. http://m.ipn.mx/pdf/escatepepan/escatepepan/wps/wcm/connect/3b45ff00428fbf24b180fb827cf81e5/energias_alternativas3bcd.pdf

- Greenpeace. 2009. *Cambio climático: futuro negro para los páramos*. Bogotá: Greenpeace Colombia. https://greenpeace.co/pdf/paramos/informe_todo3.pdf
- Ruiz, F. 2010. "Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100)". Nota Técnica de IDEAM, no. IDEAM-METEO/005-2010, Bogotá D.C. <https://www.scirp.org/%28S%28351jmbntvnsjt1aadkozje%29%29/reference/referencespapers?referenceid=1787880>
- Soon, Willie, Sallie Baliunas, Arthur Robinson y Zachary W. Robinson. 2007. "Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide." *Climate Research* 12 (2): 79-90. <https://doi.org/10.3354/cro13149>
- Sánchez-Zavaleta, Carlos A. 2016. "Evolution of the Concept Climate Change and Its Impact in the Public Health of Peru". *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 33 (1): 128-138. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2014>
- Secretaría de Agricultura. 2014. "Encadenamiento de Papa". Gobernación de Boyacá. Consultado el 15 de mayo de 2021. <https://www.boyaca.gov.co/secretariaagricultura/cadena-agroalimentaria-de-la-papa/>
- Uribe Botero, Eduardo. 2015. *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/708d43ao-ef64-41f9-9ff7-ca8ae75d8coe>
- Useche, Dalia y Sara Márquez. 2015. "Diagnóstico socio-ambiental de la producción agrícola en el Páramo de Rabanal (Colombia) como base para su reconversión agroecológica". *Ciencia y Agricultura* 12 (1): 27-37.
- Vuille, Mathias. 2013. "El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales". *Banco Interamericano de Desarrollo*, 21. http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5826/SR2012_VUILLE_FINAL_ESP.pdf?sequence=1.
- Zúñiga Palma, Henry. 2009. *Elaboremos un estudio de impacto ambiental*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Consultado el 09 de julio de 2021. https://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/elaboremos_un_estudio_de_impacto_ambiental.pdf

Jenny Patricia Sierra Herrera

Ingeniera de alimentos (2011) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Sogamoso. Magíster en Ingeniería Ambiental (2019) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Actualmente es interventor del programa de alimentación escolar (PAE). Sus líneas de investigación son: calidad alimenticia y nutricional, métodos de conservación de alimentos, cambio climático.

Rigaud Sanabria-Marin

Ingeniero de sistemas (1993) de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Magíster (1996) y doctor (2002) en Geografía de la Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Francia. Actualmente es docente investigador de la Escuela de Ingeniería Ambiental y de los Estudios de Posgrado en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sus líneas de investigación son: cambio climático, variabilidad climática, transformación de ecosistemas, ordenamiento territorial y geomática aplicada.

Dalia Soraya Useche Villamizar

Ingeniera agrónoma, especialista en Ingeniería Ambiental, especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo, magíster en Ingeniería ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Doctora en Agroecología de la Universidad de Antioquia. Coordinadora del Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental, Biodiversidad y Agroecología (GISABA). Investigador junior. Par evaluador MINCIENCIAS. Docente investigador en la Escuela de Ingeniería Ambiental UPTC. Actual directora de la Escuela de Ingeniería Ambiental y coordinadora de posgrados en el Área Ambiental de la Facultad de Ingeniería UPTC.