



ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PUTUMAYO, COLOMBIA.

Autores:

David Eduardo Muñoz Salazar

David Esteban Roa Peña

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Directora:

Claudia Patria Gómez Rendón

Línea de Investigación:

Gestión ambiental - Gestión para el desarrollo urbano y rural y mejoramiento de la calidad de vida -
Salud ambiental - Responsabilidad social

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2020

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

A Dios, porque me ha llenado de sabiduría y fortaleza para superar los obstáculos y momentos en los que no sabía qué hacer.

A mis papás por acompañarme, por estar pendientes, por aconsejarme y preocuparse por mí, porque ese amor que me brindan me motivó a lograr este importante objetivo.

A mis hermanas y cuñado por apoyarme incondicionalmente a lo largo de toda la carrera, por creer en mí y permitirme llegar a donde estoy.

A mi compañero y amigo David, porque las dificultades que hubo fueron externas a nosotros y todo lo pudimos resolver, porque fuimos un gran equipo.

David Muñoz

A Dios, porque con sus bendiciones me ha llenado de felicidad y puesto en los lugares correctos para crecer como persona y lograr muchos sueños.

A mi mamá, por su incondicional amor, apoyo, dedicación y consejos me ayudaron a salir adelante.

A mi papá, con su buen ejemplo y rectitud, me sirvió de inspiración enseñándome a luchar por mis sueños y sus consejos fueron fundamentales para formarme y ser una persona correcta.

A mi compañero y amigo David Muñoz, porque gracias a sus habilidades le pudimos dar un enfoque integral a la investigación y el trabajo en equipo fue el mejor.

David Roa

Agradecemos a nuestra directora Claudia Patricia Gómez Rendón por la acogida y por su dedicación y compromiso con la investigación a pesar de todas las dificultades que se han presentado.

La universidad El Bosque por ser el lugar de formación académica y brindarnos espacios para el desarrollo de la investigación .

A nuestros amigos que nos acompañaron y apoyaron a lo largo de toda la carrera.

A las familias Muñoz y Roa por su amor y apoyo incondicional.

David Muñoz y David Roa

Tabla de contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Planteamiento del problema	3
4. Justificación	6
4.1. Social.....	7
4.2. Económico	7
4.3. Ecológico	7
5. Objetivos general y específicos	8
5.1. Objetivo General.....	8
5.2. Objetivos Específicos.....	8
6. Marco de referencia	8
6.1. Estado del arte.....	8
6.2. Marco Teórico-conceptual.....	10
6.2.1. Cambio climático.....	10
6.2.2. Escenario Climático.....	11
6.2.3. Distribución Espacial y temporal.....	12
6.3. Marco Normativo.....	14
6.4. Marco Geográfico	16
6.4.1. Macro localización del departamento del Putumayo.....	16
6.4.2. Micro localización del departamento del Putumayo.....	17
7. Metodología	19
7.1. Diseño metodológico	19

7.2. Metodología de la investigación	19
7.2.1. Selección y filtro de estaciones y periodo a analizar	24
7.2.2. Análisis y procesamiento de los datos meteorológicos.....	24
7.2.3. Estimación de datos faltantes.....	24
7.2.3.1. Método de la Media Móvil	24
7.2.4. Comprobar y rectificar datos poco fiables	25
7.2.5. Elección de la prueba estadística	26
7.2.5.1 Selección de la prueba de hipótesis para cada variable	26
7.2.5.1.1. Prueba t-Student.....	26
7.2.5.1.2. Supuesto de normalidad de Kolmogorov Smirnov	26
7.2.5.2. Estimar el error de la prueba de hipótesis.....	26
7.2.6. Identificación del comportamiento espacio temporal del cambio climático	26
7.2.6.1. Precipitación	27
7.2.6.2. Temperatura	27
7.2.7 Información de los efectos territoriales.....	28
7.2.8 Elaboración de las estrategias de mitigación y adaptación.....	28
8. Resultados	28
8.1. Selección de Estaciones	28
8.1.1. Precipitación	29
8.1.1.1. Resultados de la precipitación media anual de las estaciones seleccionadas.	29
8.1.2. Temperatura	31
8.1.2.1. Resultados del método del Gradiente de la Temperatura	31
8.2. Resultados de t-Student y la Prueba de Normalidad de Kolmogorov Smirnov.....	32
8.3. Zonificación espacio temporal del cambio climático en el departamento del Putumayo	33
8.3.1. Precipitación	33

8.3.2. Temperatura	36
8.4. Variación de la precipitación	38
8.5. Variación de la temperatura	38
8.6. Dinámica de la distribución espacio temporal del cambio climático	39
8.6.1. Comportamiento de la distribución espacio temporal de la precipitación	39
8.6.2 Comportamiento de la distribución espacio temporal de la temperatura.....	40
8.7. Identificación de los efectos territoriales del cambio climático en el departamento del Putumayo	41
8.7.1 Población.....	41
8.7.2. Salud	42
8.7.3. Agua.....	43
8.7.4. Coberturas	45
8.7.5. Ecosistemas y biodiversidad	46
8.8. Sugerencias de estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático	47
8.8.1. Estrategias de adaptación.....	48
9. Análisis de resultados y discusión.....	54
9.1. Distribución espaciotemporal del cambio climático.....	54
9.2. Estadística y método de interpolación	59
9.3. Efectos territoriales en la población.....	60
9.4. Efectos territoriales en la salud.....	62
9.5. Efectos territoriales en coberturas.....	63
9.6. Efectos territoriales en agua.....	68
9.7. Efectos territoriales en ecosistemas y biodiversidad	71
9.8. Estrategias de adaptación y mitigación.....	73
10. Conclusiones	75

11. Recomendaciones.....	78
12. Referencias Bibliográficas.	80
13. Anexos	92

Lista de tablas

Tabla 1. Marco Normativo Relacionado al Cambio Climático.	14
Tabla 2. Clasificación del Alto, Medio y Bajo Putumayo y sus características Geográficas y Económicas.	18
Tabla 3. Matriz metodológica.....	20
Tabla 4. Estaciones seleccionadas para la variable de precipitación.	29
Tabla 5. Resultado de la precipitación media total anual (mm) para V1.....	30
Tabla 6. Resultado de la precipitación media total anual (mm) para V2.....	30
Tabla 7. Estaciones seleccionadas para la variable temperatura.	31
Tabla 8. Resultados de temperatura máxima media anual (°C) de los 25 puntos evaluados para V1.....	31
Tabla 9. Resultados de temperatura máxima media anual (°C) de los 25 puntos evaluados para V2.....	32
Tabla 10. Resultados de t-Student y la prueba de Normalidad de Kolmogorov Smirnov para la variable precipitación.....	33
Tabla 11. Variación de la precipitación.	38
Tabla 12. Variación de la temperatura.	39
Tabla 13. Población municipal de los años 2005 y 2018 y su respectivo cambio.	42
Tabla 14. Estrategias de adaptación al cambio climático en el departamento de Putumayo.	49
Tabla 15. Estrategias de mitigación al cambio climático para el departamento de Putumayo.	52

Lista de figuras

Figura 1. Inversiones departamentales de Cambio Climático periodo 2011-2015.....	5
Figura 2. Estaciones usadas en la TCNCC.	6
Figura 3. Macro localización de Putumayo.	17
Figura 4. Micro localización del departamento del Alto, Medio y Bajo Putumayo.	18
Figura 5. Esquema del proceso metodológico separado por fases.	23

Figura 6. Ubicación de las estaciones seleccionadas y distribución del piedemonte amazónico.....	28
Figura 7. Mapa de la distribución de la Precipitación Media Total Anual (mm) entre los años de 1988 a 2003 en el departamento de Putumayo, Colombia.	34
Figura 8. Mapa de la distribución de la Precipitación Media Total Anual (mm) entre los años de 2004 a 2019 en el departamento de Putumayo, Colombia.	36
Figura 9. Mapa de la distribución de la Temperatura Máxima Media Anual (°C) entre los años de 1988 a 2003 en el departamento de Putumayo, Colombia.	37
Figura 10. Mapa de la distribución de la Temperatura Máxima Media Anual (°C) entre los años de 2004 a 2019 en el departamento de Putumayo, Colombia.	38
Figura 11. Izquierda: Ubicación humedales en zonas del Putumayo Alto, Medio y Bajo y Derecha: Ubicación de humedales en el Valle de Sibundoy.....	45
Figura 12. Diagrama de Adaptación Basada en Ecosistemas AbE.	48
Figura 13. Escenario de precipitación anual para 2080 resultado del promedio de los modelos usados por el IPCC.....	59
Figura 14. Imagen satelital del área de las estaciones El Pepino (punto amarillo) y Villagarzón (punto rojo). Año 1988.	65
Figura 15. Imagen satelital del área de las estaciones El Pepino (punto amarillo) y Villagarzón (punto rojo). Año 2019.	66
Figura 16. Resultados de temperatura ampliados al área de las estaciones El Pepino y Villagarzón. Izquierda: Ventana 1. Derecha: Ventana 2. Temperatura menor color amarillo, mayor color rojo.....	67
Figura 17. Resultados de precipitación ampliados al área de las estaciones El Pepino y Villagarzón. Izquierda: Ventana 1. Derecha: Ventana 2. Menor precipitación color rojo, mayor color verde oscuro.....	67
Figura 18. Mapa de la conectividad ecosistémica entre el Valle de Sibundoy con la cuenca alta del río Putumayo y los páramos de bordoncillo y Cascabel.....	69
Figura 19. Zonas susceptibles de inundación año 2010.	70
Figura 20. Biomas generales presentes en el departamento de Putumayo.	73

1. Resumen

Las variaciones en los comportamientos de temperatura y precipitación en el departamento del Putumayo, producto del cambio climático, han sido muy poco estudiadas a una escala local, además, no se tienen los suficientes registros de información relevante que ayuden a la toma de decisiones para la mitigación y adaptación de este fenómeno. En este trabajo se describe la distribución espacio-temporal del cambio climático y sus efectos territoriales en Putumayo. Por ende, mediante las variables de temperatura y precipitación, se analizó el comportamiento del cambio climático en un periodo de 32 años, comprendido entre 1988 a 2019, para poder cuantificar y describir las variaciones que han tenido estas variables a través de los años, utilizando el sistema de información geográfico ArcGIS Pro para modelar dicho comportamiento, y así entender la dinámica que este tiene e identificar cómo ha sido su afectación en los ámbitos sociales, económicos y ecológicos de este departamento.

Se evidenció un aumento generalizado de la temperatura, por su parte la precipitación exhibió dinámicas distintas con decrecimientos en la parte alta (zona andina del departamento) y aumentos en la zona baja y en el Piedemonte Amazónico, siendo en esta última zona los incrementos más significativos de todo el departamento. Con base a estos resultados, se planteó un análisis que relaciona la dinámica climática encontrada con los efectos territoriales, asociados a los aspectos de población, salud, agua, cobertura y ecosistemas y biodiversidad, para finalmente, sugerir estrategias de adaptación y mitigación acordes a la realidad del departamento de Putumayo.

Palabras clave: *Cambio climático, precipitación, temperatura, distribución espacio temporal, Putumayo, efectos territoriales, Piedemonte Amazónico, estrategias de mitigación y adaptación, población, salud, agua, Coberturas, ecosistema y biodiversidad.*

Abstract

Variations in the behavior of temperature and precipitation in the department of Putumayo, as a result of climate change, have been poorly studied at a local scale, besides, there are not enough records about relevant information to making-decision for mitigation and adaptation of this phenomenon. Therefore, through the variables of temperature and precipitation, the behavior of the climate change will be analyzed in a period of 32 years, between 1988 to 2019, in order to quantify and describe the variations that these variables have had over the years, using the ArcGIS Pro geographic information system to model the behavior and thus understand its dynamics that this has and identify how it has been its affectation in the social, economic and ecological components of the department. There was a general increase in temperature, while precipitation showed different dynamics, with decreases in the upper part (Andean zone of the department) and increase in the lower zone and the Amazon Foothills, being the latter, the most significant increases in the entire department. Based on these results, an analysis was proposed that relates the climate dynamics found with the territorial effects, associated with the aspects of population, health, weather, coverage and ecosystems and biodiversity, to finally suggest adaptation and mitigation strategies according to reality of the Putumayo department.

Keywords: *Climate change, precipitation, temperature, space-time distribution, Putumayo, territorial effects, Amazonian Foothill, mitigation and adaptation strategies, population, health, water, covers, ecosystem and biodiversity.*

2. Introducción

El cambio climático (CC) es la variación del estado del clima, identificable en los cambios del valor medio de sus propiedades que perduran durante largos periodos y que se obtienen mediante pruebas estadísticas (IPCC, 2014). Las alteraciones en los comportamientos de variables como temperatura y precipitación generadas por este fenómeno afectan de manera directa a los ecosistemas y a las personas, ya que los patrones de aquellas variables en el tiempo se van transformando, generando una serie de desequilibrios ecosistémicos y afectaciones en los ámbitos sociales, económicos y ecológicos a nivel global o local, como el caso estudiado en el departamento de Putumayo.

En la actualidad los efectos del cambio climático a nivel mundial han tenido repercusiones negativas directamente en el ambiente, en donde se generan una serie de problemáticas sociales y de salud a una escala mundial, ya que las fuertes actividades antrópicas están acelerando este fenómeno debido a las inadecuadas prácticas y los aumentos de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera producto de actividades como la deforestación, que ha aumentado a través del tiempo, situación que a su vez repercute en las personas y la biodiversidad. Respecto a lo anterior, los ecosistemas de bosque, son de gran importancia ecológica ya que ayudan a la mitigación de este fenómeno climático, no obstante, son los que más sufren afectaciones debido a que son susceptibles a cualquier tipo de variaciones en el ambiente, tal como ocurre en el bosque húmedo tropical del Amazonas, y su conectividad desde los Andes, el bosque andino que es la zona de transición entre dos regiones que se encuentra en el Putumayo y se caracteriza por su importancia estratégica debido a sus altos niveles de biodiversidad y endemismo (SINCHI *et al.*, 2018). Dichos ecosistemas, además de ser una reserva natural a nivel mundial por ofrecer servicios de gran importancia que, entre otros, ayudan con la mitigación del cambio climático al funcionar como un sumidero de carbono, aportan a la producción de oxígeno y regulan la calidad del aire, sin embargo; esto se ha visto amenazado debido a la histórica intervención humana que ha degradado y fragmentado los distintos ecosistemas, generando una vulnerabilidad natural y social en el departamento. Adicional a dicha problemática, es importante determinar los comportamientos del cambio climático en el área departamental, ya que, aunque es claro que es un fenómeno global, su comportamiento no es igual en todas partes, por tanto, resulta fundamental comprender dicha dinámica de forma local y así poder establecer las afectaciones que tiene y así poder asociar y describir los impactos que puede llegar a ocasionar en los sectores sociales, económicos y ecológicos.

Por ende, en el presente trabajo, al evidenciar la importancia del tema en el departamento, se enfoca en describir el comportamiento del cambio climático, por medio del análisis de la distribución espacial y temporal de las variables precipitación y temperatura, gracias al uso de registros históricos contenidos en 25 estaciones activas del IDEAM, los cuales, después de ser filtrados y procesados, se representaron gráficamente gracias al sistema de información geográfica (SIG), resultados que dieron paso a relacionar y describir los efectos territoriales en cinco aspectos, población, salud, agua, coberturas y ecosistemas y biodiversidad, para finalmente, sugerir estrategias de adaptación y mitigación que sean acordes a la realidad encontrada.

3. Planteamiento del problema

Los efectos del cambio climático es una realidad global que se está viendo reflejada en Colombia, distintos estudios evidencian este fenómeno, como los reunidos por Hurtado y Mesa (2015), los cuales en general, demuestran incrementos sostenidos en la temperatura del país; así mismo, aunque no es del todo claro el comportamiento de la precipitación, también muestra tendencias variables según la zona del país. Lo anterior vuelve a ser reafirmado en reportes tales como las *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística* del IDEAM, (Mayorga, Hurtado y Benavides, 2011) y las distintas comunicaciones nacionales sobre cambio climático del IDEAM. Según lo anterior, es claro que en el país están ocurriendo cambios en el clima, los cuales en los últimos años ha tenido repercusiones negativas en el departamento del Putumayo generando afectaciones en los medios físico, natural y antrópico. Así mismo, las variaciones en la temperatura y precipitación alteran directamente la salud de las personas y el comportamiento en los ecosistemas de la zona como lo es el bosque andino (piedemonte amazónico), bosque húmedo tropical, páramos y humedales (CORPOAMAZONIA, 2014; Hernández, 2019)

La influencia que tiene la variación del clima sobre las personas y el ambiente se representa en diversas consecuencias, por ejemplo: el aumento de la temperatura en la salud, contribuye indirectamente en complicaciones de enfermedades cardiovasculares, respiratorias, mentales o de piel; y en el ambiente, genera un incremento de incendios forestales, cambios en el régimen de vientos, la afectación al recurso hídrico y la seguridad alimentaria; igualmente los cambios en la precipitación conlleva a diversos problemas ya que contribuye en el incremento del nivel de los ríos que pueden ocasionar inundaciones o perturbaciones en infraestructuras o cultivos y puede causar problemas de salud por arrastre de contaminantes en la escorrentía o generación de vectores por encharcamiento. Asimismo, la disminución de la precipitación contribuye al déficit de la disponibilidad de agua ocasionando conflictos sociales, pérdidas agropecuarias y problemas en la comunicación fluvial, además de contribuir con enfermedades respiratorias por el aumento del material particulado suspendido (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2016a).

En Colombia, aunque hay una gran variedad de piso térmicos, como país actualmente la temperatura promedio es de 22,2 °C, lo cual va cambiar según los escenarios climáticos realizados en la Tercera Comunicación de Cambio Climático por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ya que en ella se indica que la temperatura media anual del país va a aumentar 0,9 °C entre 2011-2040, 1,6 °C entre 2041-2070 y 2,14 °C entre 2071-2100. Tales cambios, además de ser alarmantes, evidencian la presencia del cambio climático en el país. Así mismo, la precipitación que tiene tres regímenes en el ciclo anual, según estos mismos escenarios, en el país, para el periodo 2011-2040 va a disminuir entre 10 y 40% en cerca del 32% del territorio nacional, entre 2041-2070 el 29,6% y entre 2071-2100 cerca del 30%, el restante no se mantendrá igual, sino que aumentará o disminuirá incluso aún más, lo que en cualquier caso va a producir distintas afectaciones debido a estos cambios. Por su parte, para Putumayo se espera que para el periodo de 2041-2070 sea el noveno departamento con mayor cambio de temperatura (1,7 °C) y para 2071-2100 el tercero (2,6 °C) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2017b). Ahora, si bien estos escenarios basados en modelos predictivos son muy útiles para tener una herramienta inicial, y en el caso general de Colombia son acordes con los modelos globales, a escalas locales, como una región o un departamento, estos siguen teniendo limitaciones, especialmente en la validación, ya que por ejemplo, son varios los modelos globales y estudios que presentan discrepancias comparada frente a escalas más específicas (Hurtado y Mesa, 2015), por ende, para entender la dinámica del cambio climático a escalas más locales como un municipio o un departamento,

son necesarios estudios más precisos y con mayor resolución en la zona, estudios que para el caso de Putumayo son bastante escasos.

Una de las causas principales de este desconocimiento sobre la distribución que tiene el cambio climático a escalas locales, se relaciona con los enfoques de las investigaciones ya que se centran más en tópicos relacionados como la biodiversidad y las enfermedades. Por ejemplo, usando dos bases de datos dispuestas por la Universidad El Bosque (Proquest Central y Science Direct), se realizaron distintas búsquedas para comparar el número de resultados arrojados, para las palabras “*Cambio climático AND Putumayo*”, se obtuvo de 6 a 17 resultados, para cambio climático y Amazonas de 10 a 65; para Biodiversidad en Putumayo 23 a 44 y en Amazonas 73 a 163; y respecto a enfermedades, 17 a 53 en Putumayo y 29 a 147 en Amazonas, se buscó en español e inglés filtrando el asunto, la fuente y el lugar -solo Colombia en Amazonas-, se evidenció que las investigaciones están más orientadas a otros temas relacionados con cambio climático. Igualmente, se exhibe el corto número de investigaciones acerca del CC, no solo como problema de la región Amazónica, sino del resto del país, si bien los números son mayores, estos resultan siendo exiguos al compararse con otros países como Brasil y Estados Unidos, e incluso del resto del mundo donde Colombia produce menos del 1% de publicación científica del tema (IDEAM, et al, 2017b) lo cual llega a sorprender si se tiene en cuenta los impactos que ha tenido el país por fenómenos meteorológicos y en sí por los efectos del cambio climático tanto en personas como en ecosistemas.

Igualmente, existen varias organizaciones que proveen de información relacionada con el cambio climático, sin embargo, gran cantidad de la ella no se encuentra disponible por fallas o escasez en las infraestructuras, a manera de ejemplo, el bajo número de estaciones meteorológicas activas, pues de las 75 estaciones existentes en el departamento de Putumayo sólo 40 están activas y de estas, solo 8 miden parámetros como temperatura, evaporación, brillo solar y evaporación, donde la mayoría de datos son insuficientes para realizar un análisis, similar a lo que sucede con algunas estaciones que miden precipitación, en las cuales hay brechas de varios años de ausencia de información, asimismo, hay amplias zonas en donde no existe ninguna estación. Adicionalmente mucha de la información presentada en distintas investigaciones está en escalas muy poco detalladas por lo que es fundamental empezar a reconocer la distribución espacio temporal del cambio climático en el departamento.

Otra causa que puede estar relacionada, es la baja asignación de recursos del departamento en materia ambiental, evidenciado en el Plan Plurianual de Inversiones del periodo de gobierno 2016 - 2019, en el cual, de las cinco dimensiones propuestas por el plan de desarrollo municipal, la que tiene menor inversión es la de *cuidado ambiental y equilibrio ecológico para la transformación*, es decir; la dimensión en materia ambiental del departamento, donde está inmerso el cambio climático. En cifras, aquella se sitúa incluso aproximadamente por debajo del 1% del total del presupuesto, lo cual es reafirmado en la *Regionalización del Plan Plurianual de Inversiones 2015- 2018* del Plan Nacional de Desarrollo “*Todos por un nuevo país*”, documento presentado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en donde de manera preliminar e indicativa, identifica las asignaciones de recursos y las prioridades de inversión de las distintas regiones y departamentos de manera que se alineen con lo propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo (PND); en el caso del Putumayo, entre los 6 objetivos de este documento: Competitividad e infraestructura estratégica, Movilidad social, Transformación en el campo, Seguridad, justicia y democracia, Buen gobierno y Crecimiento verde, este último, nuevamente en la segregación de asignación de recursos, tiene -al igual que la ciencia, tecnología e innovación- un bajo porcentaje, al cifrarse en el 1,1%. En términos monetarios se tiene el ejemplo del periodo 2011-2015 donde las inversiones asociadas a cambio climático del departamento fueron entre 1.500 y 20.000

millones de pesos, mientras en otros la inversión llegó a estar entre 60.000 y 2'500.000 millones de pesos (IDEAM et al, 2017b). Todo lo anterior es reafirmado en el más reciente *Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente (IERNA) 2019 - 2020* de la Contraloría General de la República (2020), donde se concluye que hay carencias en la priorización de estrategias y acciones orientadas a la educación, formación y sensibilización del CC, además de señalar las limitaciones financieras relacionado al tema en el país, donde aún persisten necesidades priorizadas en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's) y entidades territoriales que no cuentan con la suficiente financiación.

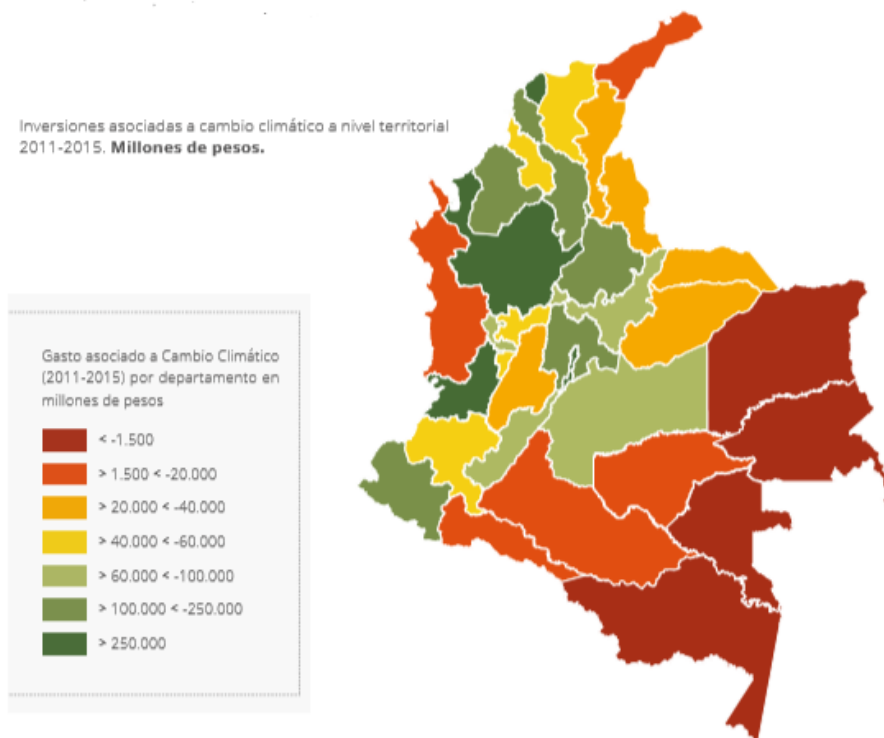


Figura 1. Inversiones departamentales de Cambio Climático periodo 2011-2015.
Fuente: IDEAM, 2017b

A partir de lo anterior, el principal problema es que se desconoce la distribución espacio temporal del cambio climático a una escala local y lo suficientemente específica en el departamento de Putumayo, en donde se evidencie claramente la distribución y los efectos territoriales focalizados, por lo que se hace difícil planificar las estrategias de mitigación y adaptación para este departamento.

De tal forma que la pregunta de investigación del proyecto es, ¿Cuál es la distribución espacial y temporal del cambio climático en el departamento del Putumayo?

También subyacen las siguientes preguntas:

¿De qué manera se comporta la distribución espacio temporal del cambio climático en el departamento de Putumayo?

¿De qué forma el cambio climático está afectando al departamento de Putumayo en los aspectos ambientales y territoriales?

Según las herramientas obtenidas del análisis ¿Cuáles pueden ser las estrategias más apropiadas para la mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático?

4. Justificación

El departamento del Putumayo tiene una variedad de ecosistemas estratégicos del orden nacional y regional, entre otros, como el Parque Nacional Natural La Paya, la Cuenca Alta del río Mocoa y los páramos de Bordoncillo, Cerro Patascoy - La Cocha, así como el complejo de humedales del Valle del Sibundoy, donde se llevan a cabo diferentes interacciones, sin embargo; en la actualidad se desconoce la información de la distribución espaciotemporal del cambio climático en la zona y los efectos sobre dichos ecosistemas y la dinámica social, ya que, aunque existan predicciones usando modelos y escenarios climáticos, estos necesitan de mayor precisión a escalas más específicas tal como se mencionó en el planteamiento del problema (CORPOAMAZONIA, 2014).

Además, en pequeñas y medianas escalas espaciales es necesario apoyarse en tendencias históricas, que resultan de los registros de las estaciones meteorológicas, lo cual se realiza en el presente proyecto, hecho que a su vez lo diferencia de documentos sobre el tema, como por ejemplo la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (TCNCC) del IDEAM, la cual además es más general a comparación de la presente investigación, debido a que los escenarios trabajados son de todo el país, es decir a una escala nacional. A partir de la Figura 2, se evidencia que en dicha comunicación solamente se usaron algunas estaciones localizadas exclusivamente en la zona Norte de Putumayo sin tener en cuenta las demás existentes en el resto del departamento, por lo que la distribución espacio temporal del cambio climático a una escala local puede ser más certera en el presente trabajo, debido a que se usan la mayor cantidad posible de estaciones activas existentes en todo el departamento (Figura 6).

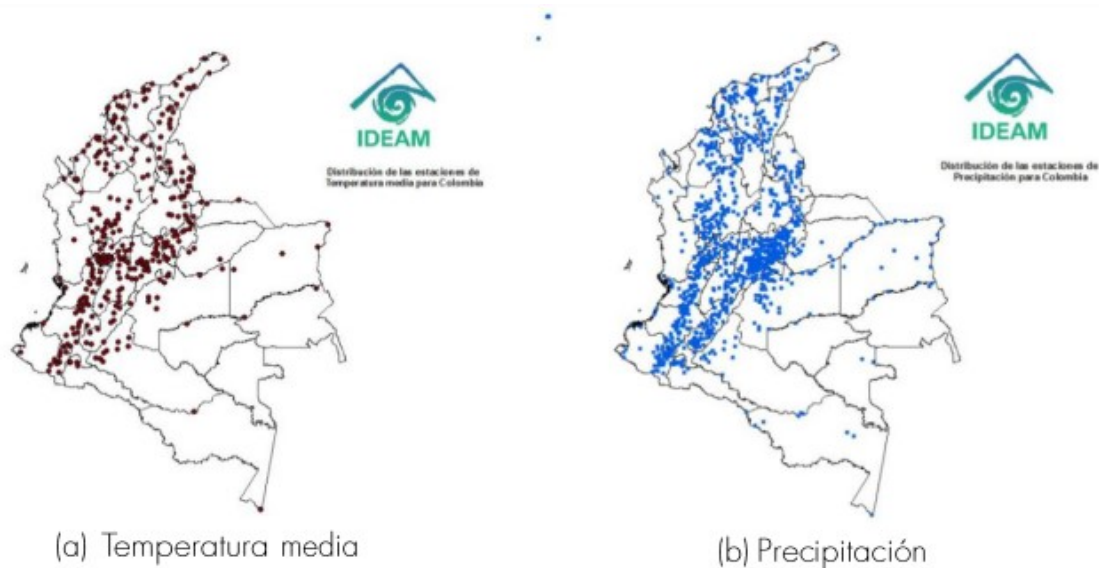


Figura 2. Estaciones usadas en la TCNCC.

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2015a.

4.1. Social

Los efectos por el cambio climático en las poblaciones y comunidades indígenas en el departamento del Putumayo generan una alteración en sus dinámicas por el aumento de la vulnerabilidad y riesgo frente a este fenómeno. De igual forma, estas afectaciones pueden ocasionar que se alteren los comportamientos culturales, sociales e históricos de manera paulatina, ya que el desconocimiento de información que se tiene frente a este tema no logra suplir las necesidades para la toma de decisiones de mitigación y adaptación.

Adicionalmente, los efectos pueden generar una alteración de la salud por la modificación del clima que puede ir desde extremas a bajas precipitaciones y altas temperaturas, en este sentido, aumentos en dichas variables podrían provocar, por un lado, un detrimento de la salud asociado al aumento del riesgo por fenómenos extremos y por otro lado, la migración de vectores en zonas no endémicas y un rebrote en las zonas endémicas, aunado a que se pueden originar condiciones propicias para la proliferación de estos. De igual forma, la variación de aquellas variables estaría amenazando la seguridad alimentaria, ocasionando aumento de los casos de desnutrición en las poblaciones por la pérdida de sistemas productivos. Por otro lado, con la disminución de la precipitación se alteraría el ciclo del agua creando problemas relacionados al desabastecimiento hídrico, también se estaría generando un mayor riesgo de pérdidas de sistemas productivos llevando a la disminución de cultivos, afectando por ende la seguridad alimentaria, ocasionando aumento de casos de desnutrición.

4.2. Económico

El cambio climático puede llegar a disminuir los sistemas productivos de la región, ocasionando que los procesos necesiten mucha más inversión económica y tecnológica, por lo que se aumenta el riesgo a tener pérdidas económicas. Así mismo, Putumayo tiene principalmente su economía enfocada a los diversos procesos de agricultura y lo que, a su vez, se ve directamente afectado a razón de cualquier variación del clima, lo que puede repercutir directamente en los sistemas de producción, por lo que las personas se verían cada vez inmersas en un crecimiento de infraestructura y tecnología capaz de soportar este fenómeno, contrayendo por ende mayores obligaciones financieras para poder cultivar y tener ingresos económicos.

4.3. Ecológico

Las alteraciones en los regímenes de precipitación y temperatura producto de los efectos del cambio climático ocasionan una desestabilización de las dinámicas ecosistémicas del departamento, como la pérdida de servicios ecosistémicos y biodiversidad, a su vez, genera efectos graves en sistemas naturales de gran importancia ecológica como los humedales, páramos, bosques del piedemonte andino-amazónico, el bosque húmedo tropical, y los ríos y demás cuerpos de agua. Los anteriores son sistemas de soporte para la mitigación del cambio climático y a su vez, son ecosistemas frágiles frente a cualquier cambio en el clima.

De igual forma, la alteración en el régimen de estas variables puede ocasionar el aumento de riesgo por eventos extremos de inundaciones o sequías, ya que por un lado, con el aumento de la precipitación se incrementa el nivel de los cuerpos de aguas superficiales, ocasionando desbordamientos y aumento en riesgos de deslizamientos en zonas con suelos altamente degradados; mientras que con la baja de

precipitación, las consecuencias se asocian a pérdida del recurso hídrico y alteración del régimen biológico, inclusive, si se junta con el aumento de la temperatura, se puede provocar el incremento del riesgo de la ocurrencia de sequías o incendios en distintas zonas del departamento.

A partir de lo anterior, la presente investigación determina el comportamiento del cambio climático en el departamento de Putumayo y sus posibles efectos en el territorio a una escala específica, por lo que este trabajo sirve para la construcción de más investigaciones de este tipo de carácter técnico y científico para entidades públicas y privadas que necesiten información de este fenómeno en el departamento, debido a la utilidad del presente ante la posibilidad de realizar proyectos encaminados a esta problemática.

5. Objetivos general y específicos

5.1. Objetivo General

Interpretar la distribución espacio temporal del cambio climático en el departamento de Putumayo.

5.2. Objetivos Específicos

1. Describir la dinámica de la distribución espaciotemporal del cambio climático.
2. Identificar los efectos territoriales que está generando el cambio climático.
3. Sugerir estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

6. Marco de referencia

6.1. Estado del arte

A nivel mundial en el año de 1988, se crea el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), con el propósito de desarrollar desde el punto de vista científico información sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones ambientales y socioeconómicas (IPCC, 2019a), posteriormente en 1990, publicaron el primer informe de evaluación del cambio climático, seguido por el segundo en 1995, el tercero en 2001, el cuarto en 2007 y el quinto y último hasta el momento en 2014; la publicación del siguiente informe se proyecta para 2022 (IPCC, 2019b).

En Colombia el tema se empieza a abordar en el año 1994 con la aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, mediante la expedición de la Ley 164 del mismo año, permitiendo adelantar acciones para abordar la problemática. Así mismo, años después Colombia aprueba el Protocolo de Kioto, con la ley 629 de 2000; posteriormente; en el año 2001 el país presentó su Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la Convención Marco de las Naciones

Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), publicado por el IDEAM, el cual expuso el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para los años 1990 y 1994.

En el año 2002, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), elaboraron los Lineamientos de Política de Cambio Climático, en donde se describen las principales estrategias de mitigación en el marco de la CMNUCC, el Protocolo de Kioto y de la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Además, en ese mismo año se crea la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático en el Ministerio de Ambiente siendo el ente promotor de los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) del país. Colombia en el año 2003, expidió el CONPES 3242, "Estrategia Nacional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación de Cambio Climático", el cual generó la introducción de los proyectos de MDL dentro de las medidas de mitigación del contexto nacional.

El año 2004 es un año importante para el país en materia, ya que mediante el Decreto 291, Artículo 15, numeral 11, se designa al IDEAM como la entidad encargada de controlar la elaboración de las Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC y ser el ente encargado de la ejecución de las investigaciones y publicaciones de cambio climático en el contexto nacional.

En el año 2010, Colombia presenta la Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC, exponiendo el Inventario de fuentes y sumideros de GEI para los años 2000 y 2004. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019a). En el año 2015, se presenta el documento “*Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100*”, basado en el Informe de Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperaturas en Colombia en el Marco del Quinto Reporte del IPCC (IDEAM et al., 2015b).

En 2016 se estableció la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático “SISCLIMA” a través del Decreto 298. En 2017, se publica la Política Nacional de Cambio Climático, el cual incorpora la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente y baja en carbono, para reducir los riesgos del cambio climático y permitir aprovechar las oportunidades que este genera. (Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). También, en este año se publica la “Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático” en el contexto interinstitucional de SISCLIMA, bajo las directrices de la Política Nacional de Cambio Climático, con el objetivo de que los sectores, territoriales, autoridades ambientales, gremios, academias, entre otros actores, puedan apropiarse y comparar las metodologías y resultados dispuestos en esta comunicación (IDEAM et al, 2017c).

En 2018 por medio de la Ley 1931, se establecen directrices para la gestión del cambio climático con el fin de apoyar en materia de decisiones tanto públicas como privadas, la concurrencia de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitana y Autoridades Ambientales principalmente en las acciones de adaptación al cambio climático, así como en mitigación de gases efecto invernadero. Igualmente, esta Ley define los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales (PIGCCT), como los instrumentos que las entidades territoriales y autoridades ambientales regionales identifican, evalúan, priorizan, y definen medidas y acciones de adaptación y de mitigación. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

El departamento del Putumayo en materia de cambio climático no ha reportado algún estudio a una escala local, sin embargo; a la fecha se encuentra en proceso de formulación del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático toda vez que solo hasta el año 2019, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) presentó los lineamientos para la elaboración de dicho plan.

Si bien se conocen los escenarios del cambio climático en el departamento elaborados por el IDEAM, en su publicación de *“Nuevos Escenarios de cambio climático 2011-2100”*, no se ha precisado la dinámica de la distribución espaciotemporal del cambio climático ni los efectos ocasionados. Por su parte como se mencionó en el planteamiento del problema, son mínimos los estudios, artículos científicos o investigaciones en general acerca del tema específico para el departamento, no obstante; se nombra algunos tales como: *“Cambio Climático como política, naturaleza y sociedad en la Amazonia colombiana”* (Echeverri, 2010), el cual relaciona los efectos del cambio climático reciente en la Amazonia colombiana y la percepción de los pueblos indígenas, especialmente de los grupos que habitan el interfluvio Caquetá-Putumayo y el Trapecio Amazónico, de igual forma, para el año 2018, Forero, Castillo y Castillo (2018), publican el estudio de *“Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamo, Putumayo (Colombia)”*, el cual busca la caracterización de la transformación de las coberturas vegetales y la incidencia que tiene este con el cambio climático, encontrando un aumento en la precipitación de 3 mm por año en el periodo de 1976-2016 y un incremento de 0,3 °C en el periodo de 1979-2016, además, se establece que el cambio paulatino de las variables climáticas de precipitación y temperatura han aumentado en la década de los noventa producto del incremento de la deforestación y cambio de cobertura y uso del suelo.

6.2. Marco Teórico-conceptual

6.2.1. Cambio climático

El clima suele ser definido como el estado promedio o descripción estadística de valores medios del tiempo meteorológico o atmosférico, que es el estado presente en la atmósfera de un espacio geográfico determinado, representado por variables como temperatura, humedad, nubosidad, etc; es decir, el clima es el tiempo predominante, evaluado en una región geográfica y periodo más amplio (IPCC, 2013b; IDEAM et al., 2016a). Por su parte, Campaña, Gonzales, Soto y Pérez (2012), definen el **cambio climático** como una alteración de las características ambientales y su variabilidad en el clima promedio que se presenta en una región implicando condiciones tanto de calentamiento como de enfriamiento. Aportando a la definición, la IPCC menciona el cambio climático como una variación del estado del clima identificable en las variaciones de valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos generalmente decenios o incluso más, tal variación se puede deber a procesos internos o externos naturales, como erupciones volcánicas o incidencias de los ciclos solares, o a cambios antropógenos persistentes en la atmósfera (IPCC, 2013b).

El cambio climático trae consigo distintas alteraciones a los patrones climáticos que son normales en un ecosistema, aquel se identifica por variaciones sostenidas en el tiempo en la media de distintas variables, como por ejemplo, la precipitación y la temperatura (IPCC, 2013a). No obstante aquellas variaciones deben ser normalmente en lapsos de 30 años o más para ser considerado como cambio climático, ya que en escalas menores de tiempo, tales cambios se consideran como variabilidad climática, definida como la fluctuación de las condiciones atmosféricas predominantes (clima) alrededor de lo normal, dentro de

rangos establecidos para los procesos en el sistema climático, dividido en variabilidad interestacional (estaciones, meses), interanual (años), interdecadal (>10 años) (IDEAM, UNAL, 2018).

El cambio climático afecta tanto al medio natural como al antrópico, por ello es necesario la adaptación, que es el proceso de ajuste a los efectos presentes y esperados del cambio climático para atenuar dichos, aprovechando oportunidades relacionadas con el clima y sus consecuencias (Ley 1931, 2018), lo que puede ser logrado mediante acciones como la mitigación, que es el esfuerzo para controlar las fuentes humanas del cambio climático, reduciendo emisiones de GEI -y otros contaminantes- o mejorando los procesos de eliminación -sumideros- (IPCC, 2014), todo con el fin de evitar la vulnerabilidad, que según grupo de trabajo II del IPCC (2001), es el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de tolerar los efectos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y los extremos climáticos.

Un ejemplo en el cual se reúnen los anteriores conceptos se relaciona con la reserva de carbono, que es el almacenamiento de aquel elemento, que es secuestrado de la atmósfera por medio de los distintos componentes abióticos como el suelo y los bosques (IPCC, 2013a; CMNUCC, 2015), siendo retenido en estos últimos en toda la biomasa viva, es decir desde el follaje, tallos hasta las raíces entre otros, y también, aunque en menor medida en madera muerta contenida en hojarasca (CMNUCC, 2015). En Colombia la estimación de las reservas de carbono en los bosques naturales dio como resultado que los tipos de bosques con mayor carbono promedio almacenado en biomasa aérea expresado en toneladas por hectárea (t C/ha), son el bosque húmedo tropical, el bosque húmedo premontano, el bosque húmedo y muy húmedo montano bajo con valores entre 91,5 y 147,5 t.C/ha (Phillips *et al.*, 2011a). De igual manera, la Amazonía, la Orinoquía y la región Andina son las que más carbono almacenado promedio tienen, con rendimientos de 128,7, 128,6 y 107,4 t/ha C respectivamente (Phillips *et al.*, 2011b). Entonces, teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia la importancia del Putumayo como reservorio de carbono para mitigar el cambio climático, al incluir ecosistemas de tal importancia, gracias a contener gran parte del piedemonte amazónico y claramente la llanura amazónica, debido a su ubicación que incluye las regiones Andina y Amazónica, que a su vez, como ya se mencionó, son dos regiones importantes en cuanto a la reserva de carbono.

Por ende, en principio, Putumayo no sería un departamento vulnerable debido a la capacidad de adaptación que pueden tener sus ecosistemas, no obstante, si no se realizan acciones que aprovechen el potencial que tienen las regiones mencionadas, la capacidad adaptativa será baja y la vulnerabilidad alta, situación que sucede actualmente en el Putumayo, pues en el resumen ejecutivo de la TCNCC, presenta que el departamento tiene una capacidad adaptativa baja, ubicándose en el puesto 26 del ranking que reúne tal capacidad de los 32 departamentos de Colombia, lo cual es debido a las pocas acciones de adaptación que realiza Putumayo, siendo menos de 140, comparada con otros departamentos que incluso sobrepasan las 400. En cuanto a la vulnerabilidad, de los 13 municipios del departamento, 10 tienen un riesgo medio o alto por cambio climático (IDEAM *et al.*, 2017a), logrando así que el Putumayo sea el sexto departamento del país con mayor riesgo por cambio climático (IDEAM *et al.*, 2017b).

6.2.2. Escenario Climático

La IPCC (2013b), menciona que el **escenario climático** es una representación aceptada y en ocasiones simplificada del clima futuro, en donde se basa un conjunto de relaciones climatológicas internamente definidas explícitamente, para poder investigar las consecuencias del cambio climático antropogénico, en donde se pueden introducir como datos en los modelos de impacto. Además, las proyecciones climáticas suelen utilizarse como un punto de partida para poder definir escenarios climáticos, aunque se

necesita de información adicional como el clima actual observado. Funciona como una importante herramienta en la gestión y planificación de un territorio, ya que es una fuente científicamente comprobada que permite anticiparse al futuro al reducir su incertidumbre, logrando decisiones más acertadas según las proyecciones, de tal manera que el planificador y elaborador de política pública evite o mitigue situaciones desfavorables (IDEAM et al, 2015b).

Debido a que el clima futuro comprende las respuestas ante un sinfín de estímulos diferentes, ya sean antrópicos o naturales, entender su comportamiento es complejo, porque, aunque haya antecedentes que ayuden, la incertidumbre acerca de las dinámicas que manejan tales estímulos y resultados es muy grande. Por ello es que se hace tan necesario la modelación de escenarios que ayuden a entender los comportamientos futuros del clima (IPCC, 2013a). Como ejemplo, existen simulaciones con variables específicas como el incremento en la temperatura que evidencian efectos concretos, como lo evaluado por Galbraith *et al* (2010) que a través de 3 modelos distintos, en un periodo de 97 años (2003 - 2100) y a partir de datos del periodo 1901 - 2002, identificaron que el incremento de la temperatura reduce las reservas de carbono en la vegetación de la Amazonia, ya sea, directamente al afectar la fisiología de la planta o indirectamente al aumentar el déficit de presión de vapor o transpiración que depende de la temperatura y afecta la fotosíntesis y absorción de nutrientes. También, Rowland *et al* (2015), evaluaron la capacidad de cinco modelos de vegetación para simular respuestas de la productividad forestal a escala de hoja y dosel, ante cambios de temperatura y precipitación en el bosque tropical amazónico, los modelos, a pesar de ser diferentes entre sí, resultan en escenarios consecuentes, en los que a temperaturas menores que las actuales, la productividad primaria bruta sería mayor. Un último ejemplo sitúa una publicación realizada por Roiz, Costa, Yana, y Fearnside (2017), donde, a partir de dos escenarios representan la cuantificación de los potenciales impactos del cambio del código forestal en Brasil -el cual favorece la deforestación-, comparado con el anterior código -favorecía la protección forestal- para el periodo 2013-2015, los resultados de simulaciones sobre los distintos escenarios, mostraron una deforestación hasta 10% superior en el código más permisivo, lo que se traduce en reducciones de la reserva de carbono forestal y por ende mayores emisiones, es decir que el nuevo código trae consigo múltiples consecuencias negativas. Las inferencias realizadas en los tres estudios anteriores no serían posible sin el apoyo de la simulación de distintos escenarios a futuro, basados algunos con información retrospectiva de referencia.

6.2.3. Distribución Espacial y temporal

Buzai (2016) menciona que la **distribución espacial** considera un conjunto de identidades de un mismo tipo que se reparten de una determinada forma sobre un espacio geográfico. Así mismo, estas pueden ser líneas, puntos, polígonos (áreas) con diferentes atributos asociados en sistema vectorial o localizaciones dispersas que representan zonas y puntos con clases similares consecutivas en un sistema ráster. De igual forma, Buzai y Baxendale (2010) expresaron que la distribución espacial puede ser considerada como un concepto central dentro de la geografía, generando la posibilidad de analizar un área diferencial inicial con base en cada variable individual del área del estudio. Aquellas distribuciones abarcan diversas escalas determinadas, que pueden ser locales (<100.000 km²), regionales (100.000 km² - 10'000.000 km²) o continentales (10'000.000 km² - 100'000.000 km²) (IPCC, 2013b).

De igual forma, el clima también tiene una variación y **distribución temporal** a lo largo de distintas escalas, abarcando períodos estacionales, como los diferentes tipos de variabilidad (días, meses, años, décadas) hasta periodos geológicos, es decir, llegando incluso a centenares de millones de años (IPCC, 2013b); los cuales según el objetivo de un análisis, se escoge un periodo específico, por ejemplo, en el

análisis de fenómenos como el niño y la niña se requieren escalas estacionales, o para determinar cambios globales que han ocurrido como las glaciaciones se usa la escala geológica (IDEAM, UNAL, 2018)

El país presenta una gran variación en los patrones temporales y espaciales de precipitación debido a las características de su topografía y factores de formación de lluvias. En general, la distribución temporal de lluvias presenta dos patrones: Régimen bimodal, en la mayor parte de las regiones Andina y Caribe y monomodal, en la mayor parte de la Orinoquía y Amazonía colombiana y algunos pocos sectores de la región Andina, la región Pacífica no presenta una tendencia definida y tiende a mostrar escasa diferencia en el año. Espacialmente la lluvia se comporta de acuerdo a la topografía, en general Colombia tiene orografías muy marcadas, como la región Andina caracterizada por presentar mayores alturas medias, contrario a las menores que se concentran en las zonas bajas de los valles, así mismo, la precipitación va variando según la región; la Caribe tiene las más bajas, aumentando en la Orinoquía y luego la Amazonia, hasta finalmente encontrar la región más lluviosa que es la Pacífica; siendo el rango de precipitación del país oscilante entre 500 mm anuales hasta los 12.000 mm dependiendo del lugar. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2016a).

Por su parte la temperatura en el tiempo tiene una baja variabilidad intermensual, contrastado con su significativa amplitud diaria e interestacional, esta última con diferencia promedio de temperatura de 10 °C entre temporada seca (mayor) y época de lluvias (menor). Para la variación espacial nuevamente la topografía es un factor determinante en la región Andina, donde la relación inversamente proporcional de la temperatura y la elevación es muy marcada, logrando rangos entre 12 °C (inferior en alta montaña) hasta 28 °C; en las demás regiones al no existir diferencias orográficas tan notables, el rango es significativamente menor, 24 °C - 28 °C para la región Amazónica, Pacífica y Orinoquía y de 28 °C a 30 °C (o incluso más) en la región Caribe (IDEAM *et al.*, 2016a).

Después de presentar las principales teorías y sus conceptos asociados, para efectos de este proyecto se define: *cambio climático*, como la variación sostenida del promedio de parámetros climáticos, tales como temperatura y precipitación, en un periodo igual o mayor a 30 años, el cual es el resultado de un proceso natural pero que es influido y acelerado por actividades humanas; tal cambio al alterar los patrones normales del clima, puede conllevar a efectos negativos tanto a los ecosistemas como a las personas. También la *distribución espacio temporal*, como la forma en que la variación del clima, es representada en el territorio a través de una escala de tiempo y un espacio geográfico definido. Finalmente, *escenario climático*, como la herramienta que reúne y relaciona distintas variables, con base a información ya existente, con el objetivo de generar una representación futura y simplificada del clima, que permita reducir la incertidumbre que se tiene al planear o realizar análisis prospectivos

6.3. Marco Normativo

Tabla 1. Marco Normativo Relacionado al Cambio Climático.

EXPEDICIÓN DE LA NORMA	NÚMERO DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULOS RELACIONADOS
Naciones Unidas	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (CMNUCC) de 1992	Reconoce la existencia del problema del cambio climático, y establece un objetivo último: lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas (causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático	1°. Definiciones
			6°. Educación, formación y sensibilización del público
Congreso de la República de Colombia	Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.	1°. Definiciones
			6° Educación, formación y sensibilización al público
			12°. Transmisión de la información relacionada con la aplicación

Conferencia de las partes	COP25 2019	Madrid	<p>Se deben presentar planes para reducción de emisiones de carbono “más ambiciosos”</p> <p>Conocimiento científico como eje principal para focalizar decisiones climáticas</p> <p>Mantener equilibrio entre el océano y uso del suelo para el buen funcionamiento del sistema climático</p>
	COP26 2021	Glasgow	<p>Presentación de planes para reducción de emisiones de carbono</p> <p>15° reunión de las partes del Protocolo de Kioto</p> <p>Segunda reunión de las partes del Acuerdo de París</p>
Congreso de la República de Colombia	Ley 629 de 2000	Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.	Todos los artículos
Departamento Nacional de Planeación	CONPES 3700 de 2011	Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático.	Capítulo I. Introducción
			Capítulo II. Diagnostico
			Capítulo V. Lineamientos
Presidente de la República	Decreto 298 de 2016	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones"	2°. Sistema Nacional de Cambio Climático
			4°. Fines
			10°. Nodos regionales de Cambio Climático

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Política nacional de cambio climático de 2017	Incorpora la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono.	Capítulo 1. Introducción de la política
			Capítulo 3. Contexto
			Capítulo 4. Marco conceptual de la política
			Capítulo 7. Líneas estratégicas
			Capítulo 8. Líneas instrumentales
Congreso de la República de Colombia	Ley 1931 de 2018	Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático	1°. Objeto
			3°. Definiciones
			4°. Sistema nacional de cambio climático
			6°. Responsabilidad de la adaptación
			8°. Instrumentos departamentales

Fuente: Autores (2020)

6.4. Marco Geográfico

6.4.1. Macro localización del departamento del Putumayo

Putumayo es uno de los 32 departamentos que conforman a Colombia, limita por el Norte con los departamentos de Nariño, Cauca; por el Este con el departamento del Caquetá, por el Sur con el departamento del Amazonas además de Perú y Ecuador, siendo los ríos Putumayo y San Miguel la separación que existe con estos dos países; por el Oeste limita con el departamento de Nariño. Putumayo,

junto a Caquetá, Amazonas, Guaviare, Vaupés, Vichada, Meta y Cauca, conforman la región amazónica colombiana (Figura 3) (Comisión Regional de Competitividad, 2016).



Figura 3. Macro localización de Putumayo.
Fuente: Autores (2020). Información base tomada del IGAC e IDEAM.

6.4.2. Micro localización del departamento del Putumayo

El departamento del Putumayo está localizado al sur del país en la región de la Amazonía, localizado entre 01°26'18" latitud Norte, 00°27'37" latitud Sur y 73°50'39" y 77°4'58" de longitud Oeste. Tiene una superficie de aproximadamente 25.802 km², siendo un 2,2% del territorio nacional, en cuanto a población era de 348.182 para el año 2018. El 9% del territorio del Putumayo pertenece a la unidad de paisaje cordillera de los Andes, ubicada por encima de 900 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), cerca del 6% pertenece a la unidad de paisaje Piedemonte Amazónico, ubicada entre los 300 y 900 m.s.n.m (Figura 6) y cerca del 85% pertenece a la unidad de llanura ubicada por debajo de los 300 msnm, clasificándose en Alto, Medio y Bajo Putumayo (Comisión Regional de Competitividad, 2016; SINCHI, 2016; DANE, 2018)

En general, el departamento se caracteriza por sus tierras planas, sin embargo, se pueden encontrar pisos térmicos cálido, templado y bioclimático páramo. La temperatura media en la región es de 25,3 °C, con mínima promedio de 21,5 °C y máxima promedio de 30,2 °C, las temperaturas mínimas se presentan entre los meses de junio a agosto y los valores máximos están entre los meses de diciembre a enero.

Como se observa en la tabla 2, se evidencia que la principal fuente económica del Putumayo son las actividades de agricultura y ganadería en las tres subregiones del Putumayo (Alto, Medio y Bajo). En las prácticas de agricultura se cultiva plátano, yuca, maíz, arroz, papa, frijol, caña panelera, palmito, y frutales como manzana, chontaduro, piña y chiro (Comisión Regional de Competitividad, 2016).

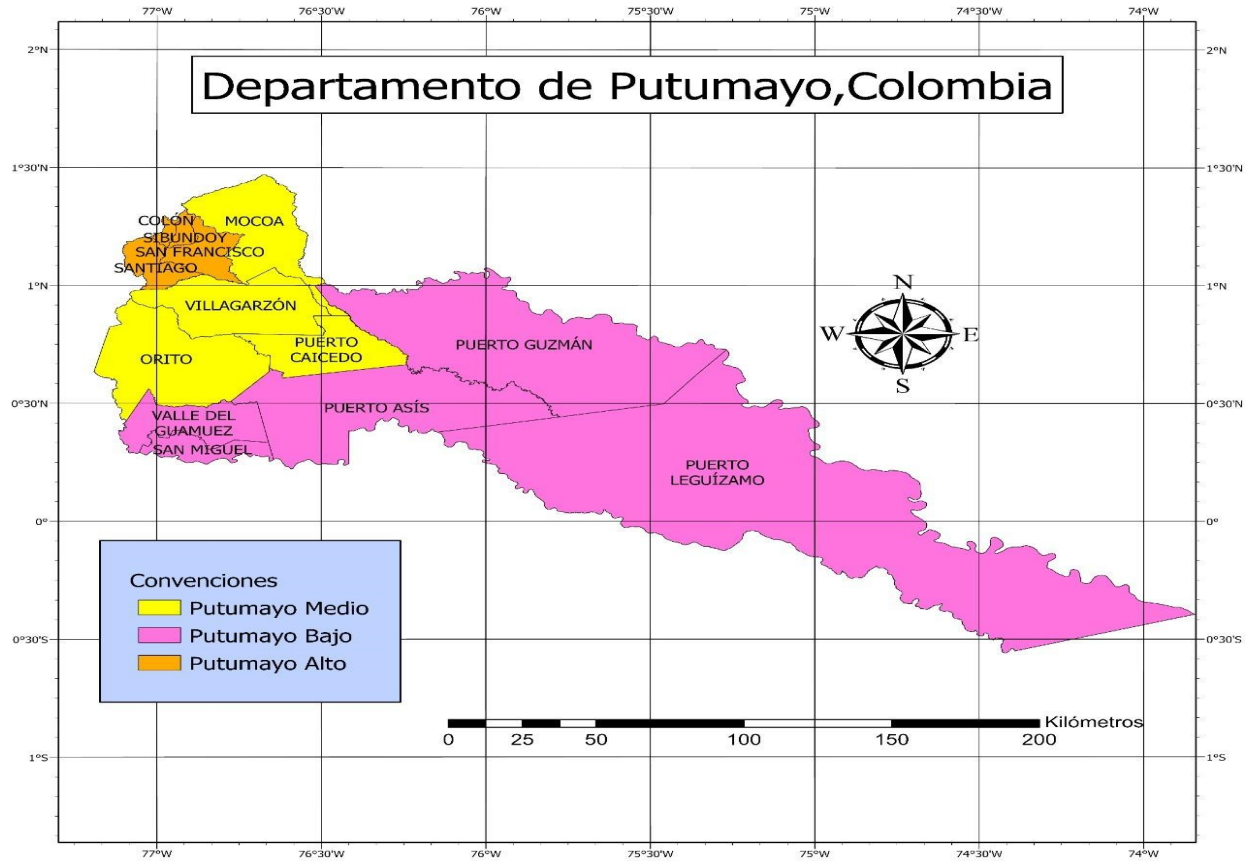


Figura 4. Micro localización del departamento del Alto, Medio y Bajo Putumayo.
Fuente: Autores (2020). Información base tomada del IGAC e IDEAM.

Tabla 2. Clasificación del Alto, Medio y Bajo Putumayo y sus características Geográficas y Económicas.

Subregiones	Municipios	Características Geográficas	Actividades Económicas
Putumayo Alto	Santiago, Colón, San Francisco y Sibundoy.	Hace parte de la cordillera de los Andes	Cultivos de: Frijol bolón rojo y diversas frutas. Ganadería y producción lechera. Yacimientos de oro de veta y aluvión

Putumayo Medio	Mocoa, Villagarzón, Puerto Caicedo Y Orito.	Comprende la cordillera y la parte alta de los ríos Guamuez y putumayo.	Principales actividades económicas son: ganadería y producción lechera
Putumayo Bajo	Puerto Guzmán, Puerto Asís, San Miguel, el Valle del Guamuez y Puerto Leguizamo.	Abarca la mayor parte del departamento, se caracteriza por bajas inclinaciones y por los bosques de selva tropical	Predomina la producción de plátano, yuca, arroz y maíz, además, de la ganadería. Se encuentra una gran variedad de maderas para la construcción, plantas medicinales, oleaginosas, fibrosas, resinosas como caucho, balatae e incienso

Fuente: Comisión Regional de Competitividad (2016).

7. Metodología

7.1. Diseño metodológico

Este proyecto tiene un enfoque **mixto** ya que nos permite tener una mayor capacidad de explicación mediante la recolección y análisis de datos para la investigación. Para el primer y segundo objetivo es **cuantitativo** debido a la recolección de datos, análisis con métodos estadísticos, estimación y descripción del cambio climático en el departamento de Putumayo a través de las variables seleccionadas, igualmente por la recopilación de cifras para los componentes territoriales. Así mismo, se maneja la parte **cualitativa** para el primer, segundo y tercer objetivo específico, ya que se utiliza la recolección y análisis de información para apoyar la investigación y explicar el comportamiento de este fenómeno.

Dado que este proyecto de investigación es un tema poco estudiado en la zona, porque actualmente se desconoce con un nivel de detalle local la distribución espaciotemporal del cambio climático y ya que este proyecto puede ser una fuente de apoyo para posibles investigaciones relacionadas con el tema, el alcance se torna **exploratorio** para el primer objetivo. Además, como se buscó analizar la distribución espacio temporal del cambio climático a través de una descripción detallada de las variables de precipitación y temperatura, esta investigación tiene un alcance **descriptivo** para parte del primero, y todo el segundo y tercer objetivo específico (Sampieri, 2014).

7.2. Metodología de la investigación

El método de la investigación es el “**Estudio de Caso**”, Álvarez (2011) menciona que este permite el análisis de una entidad singular, un fenómeno o unidad social para proporcionar una descripción de manera holística y sistemática cuyo propósito principal es determinar el funcionamiento de las partes que la componen y las relaciones entre ellas. A través de este método, se podrá tener un mejor análisis de la distribución espacio temporal del cambio climático y con una descripción más articulada e interdisciplinar que permita entender cómo funciona este tema en el departamento.

Así mismo, la ejecución de esta investigación se divide en tres fases (I, II y III), las cuales corresponden para cada uno de los objetivos específicos respectivamente (Tabla 3). La primera fase (I), es una de las más importantes debido a la rigurosidad del manejo y tratamiento de los datos meteorológicos administrados por el IDEAM. En esta, se realiza toda la parte de análisis estadístico de las variables para finalmente interpretar el comportamiento de la distribución espacio temporal del cambio climático a través de la generación de mapas para las variables seleccionadas respecto del periodo de análisis, el cual se logra mediante las actividades de levantamiento de información, análisis de los datos con la finalidad de sintetizarlos de las variables establecidas, la identificación de los comportamientos de las variables, y con la zonificación de la distribución espacio temporal del cambio climático termina el primer objetivo.

En la segunda fase (II), se identifican los efectos territoriales del cambio climático con la finalidad de poder articular los resultados del primer objetivo con los efectos que está ocasionando el cambio climático en el departamento, a través del cumplimiento de las actividades de reconocimiento de la distribución, detección de las zonas con mayor cambio y finalmente comparando dichos cambios con los efectos territoriales asociados.

En la tercera fase (III), consiste en sugerir posibles estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en el departamento, con base en los resultados del segundo objetivo y con apoyo de fuentes teóricas, como los documentos nacionales e internacionales sobre cambio climático. Esta fase es debido a la necesidad de toma de decisiones al respecto para poder tener una mejor planificación del departamento desde los componentes sociales, ecológicos y económicos para la mitigación y adaptación.

Tabla 3. *Matriz metodológica.*

Objetivos		Fases	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
General	Específicos					
Interpretar la distribución espacio temporal del cambio climático en el departamento de Putumayo	Describir la dinámica de la distribución espacio-temporal del cambio climático	I	Levantamiento de datos meteorológicos de las estaciones activas en el departamento de Putumayo de las variables precipitación, temperatura, evaporación y brillo solar.	<p>Obtención de información en estaciones meteorológicas del IDEAM</p> <p>Filtrar la información con un mínimo de 30 años de registro de información a través de tablas dinámicas en Excel.</p>	<p>Formatos técnicos de los datos de las estaciones meteorológicas</p> <p>Excel (Tablas dinámicas)</p>	Definir las estaciones que cumplen con un mínimo de 30 años de información registrada para los parámetros establecidos una vez completos los datos

			Análisis de las series de datos de precipitación y temperatura del área de estudio.	Completar los datos faltantes con método estadístico (Método aritmético)	Excel		
			Identificar cambios en el comportamiento de las series de las variables de precipitación y temperatura en el departamento del Putumayo, en el periodo de estudio.	Determinación del valor promedio total anual para precipitación y promedio anual para temperatura en dos períodos para evidenciar los cambios			Obtener valores cuantitativos de los cambios en el comportamiento de las variables, respecto a un promedio de las series para el periodo estudiado.
					Emplear métodos estadísticos de t-Student y Kolmogorov Smirnov para determinación estadística del cambio climático	Excel- Complemento de XLSTAT 2020	
			Zonificar la distribución espacio temporal del cambio climático y los efectos territoriales del departamento de Putumayo.	Usar las coordenadas geográficas de las estaciones que cumplieran con los datos para georreferenciar en ArcGIS Pro las variables de precipitación y temperatura seleccionadas	ArcGIS Pro	Generar un mapa y describir la distribución espacio temporal del cambio climático para las variables seleccionadas.	
				Ingresar las series filtradas y completadas de cada variable analizada.			
				Generar un mapa por cada periodo de tiempo analizado con las herramientas ofrecidas por ArcGIS Pro para las variables seleccionadas			

	Identificar los efectos territoriales que está generando el cambio climático	II	Reconocimiento del comportamiento del cambio climático en el departamento	Examinar la cartografía obtenida de la distribución espacio temporal del cambio climático	ArcGIS Pro	Comprender la dinámica del aumento y/o disminución de la temperatura y precipitación en el Putumayo	
			Detectar las zonas con mayor cambio en el clima en el departamento	Revisar el mapa obtenido del primer objetivo específico para precisar las zonas con mayor aumento o disminución las variables		Determinar las zonas con un cambio más notable en el clima para enfocar y profundizar el análisis de los efectos en tales zonas	
			Comparar la distribución espacio temporal con efectos en el territorio	Realizar revisiones que evidencian los mayores impactos del cambio climático en las zonas resultantes de la anterior actividad		Imágenes de satélite	Identificar efectos y determinar su relación con el cambio climático del departamento, en especial en las zonas con mayores variaciones en las dos variables.
				Asociar efectos a los aumentos/disminuciones de la precipitación y/o temperatura		Bases de datos	
				Relacionar posibles cambios de cobertura, de cuerpos de agua, de migraciones en el departamento con el cambio del clima			
	Sugerir estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.	III	Revisión de las recomendaciones metodológicas, herramientas del IPCC, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM	Análisis documental	Bases de datos de la universidad y bases externas	Establecer posibles estrategias de mitigación y adaptación del cambio	

			Revisión de la política de cambio climático Colombia	Análisis documental	Política Nacional de Cambio Climático	climático en el departamento de Putumayo
			Identificación aspectos críticos y elementos clave	Análisis documental	Bases de datos	

Fuente: Autores (2020)

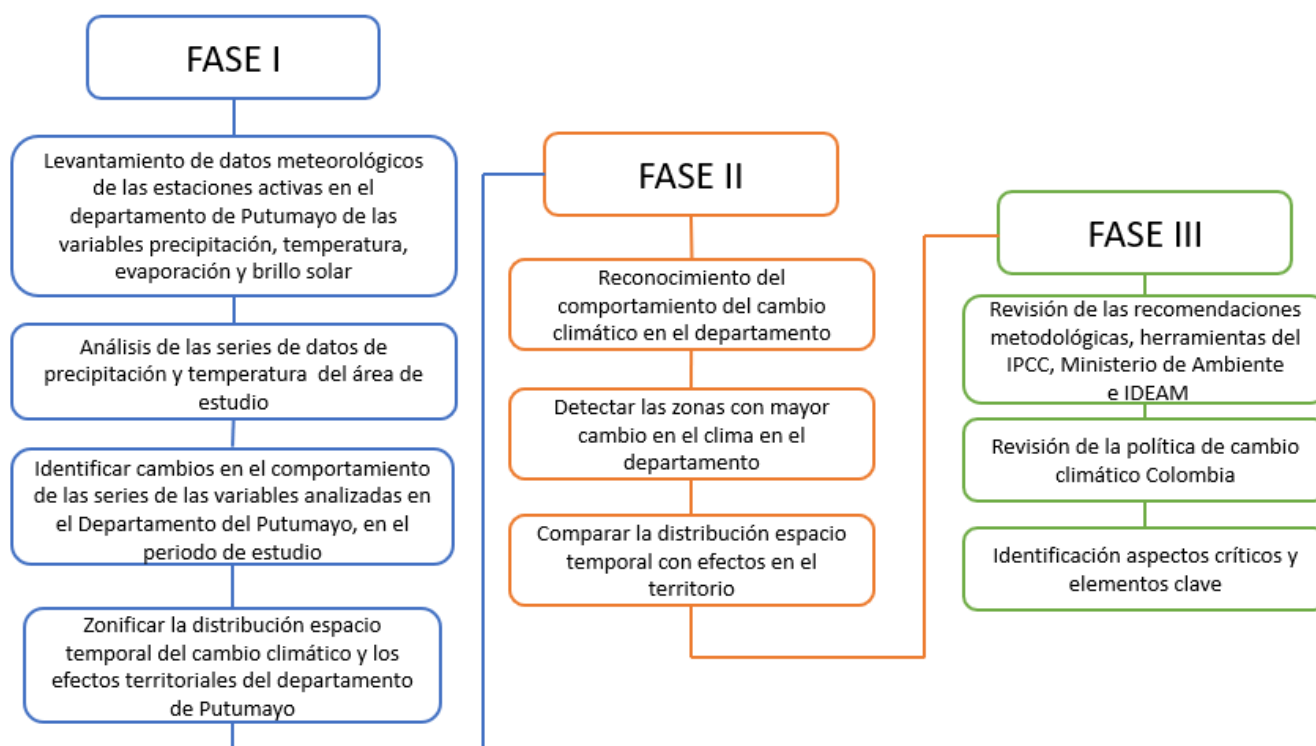


Figura 5. Esquema del proceso metodológico separado por fases.

Fuente: Autores (2020).

7.2.1. Selección y filtro de estaciones y periodo a analizar

Se procedió a revisar el catálogo nacional de estaciones meteorológicas del IDEAM, eligiendo exclusivamente las estaciones activas en el departamento de Putumayo. Se obtuvo un total de 40 estaciones activas, de las cuales, 8 son agrometeorológicas, climáticas ordinarias o principales, es decir; miden parámetros como temperatura, brillo solar, evaporación, humedad entre otros, diferente al restante de estaciones que solo miden precipitación o nivel del agua. Una vez seleccionada las estaciones, se procedió a solicitar la información al IDEAM para las variables de temperatura, brillo solar, evaporación y precipitación y así posteriormente realizar un recuento en cada estación y por cada parámetro, analizado el número de días con información registrada, con la finalidad de filtrar las estaciones que verdaderamente reporten información que alimenten el estudio.

El resultado fue eliminar las estaciones que no cumplieran con una información registrada de mínimo 30 años. Asimismo, se usaron estaciones que contarán con 75% de datos existentes o más, similar a lo realizado por Arango, Dorado, Guzmán, Ruiz (2012), los cuales trataron la información por porcentaje de datos existentes del orden del 90, 85, 80 y 70 para agrupar según la ausencia de datos. A raíz de esto se excluyó de trabajar con las variables de brillo solar y evaporación debido a que no alcanzaban los 30 años y contaban con más del 25 % de datos faltantes. Por otro lado, las variables que si cumplieron lo establecido, fueron la de precipitación diaria y temperatura seca máxima diaria, siendo ésta la única que contaba con suficientes registros, ya que también se recibió datos de temperatura húmeda media diaria, seca media diaria y seca mínima diaria.

Finalmente, según lo anterior y con el fin de cumplir la recomendación de la OMM que indica el disponer de datos por lo menos del 80% de los años que integran el período de promediación (OMM, 2018), se escogió el periodo a analizar entre 1988 y 2019, dividiendo en dos ventanas temporales cada una de 16 años, por lo cual, se hace referencia a la Ventana 1 (V1) los años de 1988 a 2003 y la Ventana (V2) los años de 2004 a 2019.

7.2.2. Análisis y procesamiento de los datos meteorológicos

Se procesaron las variables seleccionadas, con el propósito de obtener datos homogéneos para tener un correcto análisis de estos. Para ello se dispuso a calcular las series mensuales de precipitación (total en mm) y temperatura (promedio en °C), para posteriormente obtener el promedio total anual y la media anual respectivamente en cada estación y cada año.

7.2.3. Estimación de datos faltantes

Debido a que en los registros suministrados por el IDEAM se presentaban datos faltantes, se hizo necesario complementar dichos por medio del método de la Media Móvil.

7.2.3.1. Método de la Media Móvil

Escoda (2004), menciona que este método consiste en calcular la media aritmética de la serie de datos faltantes para un intervalo de tiempo definido. En este sentido, mediante la utilización de este método se completaron los datos faltantes del total (mm) para la variable de precipitación y el promedio (°C) para temperatura, en ambos casos por las estaciones meteorológicas activas del departamento del Putumayo; por lo que la ecuación adaptada para la variable de la precipitación es la siguiente:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Ecuación 1.

donde:

\bar{P} : Promedio de precipitación total por estación meteorológica del dato faltante.

P_i : Sumatoria del conjunto de datos de la precipitación total mensual de todos los años por estación meteorológica del mes faltante.

n: Total de datos.

De igual forma para la variable de temperatura se adaptó la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Ecuación 2.

donde:

\bar{T} : Promedio de temperatura por estación del dato faltante.

T_i : Sumatoria del conjunto de datos de la temperatura media de todos los años por estación meteorológica del mes faltante.

n: Total de datos

7.2.4. Comprobar y rectificar datos poco fiables

Después de completar los datos faltantes, se procedió a revisar los datos poco fiables en las series de precipitación, es decir, aquellos que en el total mensual presentaban valores sumamente bajos comparados al resto del año y a la tendencia de dicho mes en los demás años. Para ello, se revisó documentos sobre registros de sequías en el país (Mayorga & Hurtado, 2006; Montealegre, 2007; Gómez y Cadena, 2017; UNGRD, IDEAM, MADS, Cancillería, UNCCD, 2018) enfocando la revisión hacia el Putumayo, con la finalidad de contrastar el dato en cuestión, resultando en que si no se verifica la ocurrencia de alguna sequía en el mes y/o año del dato dudoso, este se tomaba como dato faltante y se rectificaba mediante el método anterior.

7.2.5. Elección de la prueba estadística

Se escogió la prueba estadística de Estudio Longitudinal (muestras relacionadas) de dos grupos y como resultado, la prueba paramétrica de t-Student.

7.2.5.1 Selección de la prueba de hipótesis para cada variable

7.2.5.1.1. Prueba t-Student

Este se realizó utilizando Office 365 módulo de complemento de Excel -Análisis de datos- para interpretar los estadísticos descriptivos. El desarrollo de la prueba representó su modelación por cada variable, estación y periodo de análisis y, con los resultados, proceder a su interpretación. Para la prueba de hipótesis de la variable de precipitación, se escogieron las siguientes:

-Hipótesis Nula: $H_0 = \text{No existe diferencia significativa}$ en las medias de precipitación entre el periodo 1988-2003 y 2004-2019 en el departamento del Putumayo.

-Hipótesis Alterna: $H_1 = \text{Existe una diferencia significativa}$ en las medias de precipitación entre el período 1988-2003 y 2004-2019 en el departamento del Putumayo.

7.2.5.1.2. Supuesto de normalidad de Kolmogorov Smirnov

Tiene como propósito conocer el comportamiento normal o no de las variables involucradas en la investigación. Para este se utilizó la prueba de Kolmogorov Smirnov debido al número de datos que integran cada serie climática, convirtiéndose en los criterios para su determinación los siguientes:

a. Prueba de hipótesis para precipitación

-Hipótesis Nula: $H_0 =$ Los registros de precipitación, **proviene**n de una distribución normal.

-Hipótesis Alternativa: $H_a =$ Los registros de precipitación, **no provienen** de una distribución normal.

El cálculo de normalidad se hizo utilizando Office 365 módulo de complemento de Excel XLSTAT que involucra análisis para pruebas paramétricas y no paramétricas, sean estas correspondientes a muestras independientes o relacionadas.

7.2.5.2. Estimar el error de la prueba de hipótesis

Es usual que en este tipo de estudio se utilice como prueba de error el 5%, configurándose la expresión como 0.05, de manera que para lo anterior la hipótesis es nula si se supera este valor.

7.2.6. Identificación del comportamiento espacio temporal del cambio climático

Una vez se completaron las series de tiempo y sus respectivas pruebas estadísticas para las variables de precipitación y temperatura, se calcularon resultados para cada periodo de comparación anteriormente descrito, con la finalidad de estimar el comportamiento de las variables. Por ende, para cada estación, en la precipitación, se promedió los totales anuales, obteniendo así la Media Total Anual de cada ventana; mientras para la temperatura se promediaron las medias anuales para obtener la Temperatura Máxima

Media Anual de cada ventana. Con los resultados se calculó la variación de cada estación entre periodos de estudio, expresado en porcentaje y, posteriormente se procedió a la representación gráfica (mapas) de la siguiente forma:

7.2.6.1. Precipitación

Los valores totales fueron georreferenciados en el software de información geográfica ArcGIS Pro, mediante la técnica de Análisis, seleccionando la Herramienta de Spatial Analyst-Interpolación y por último IDW. La interpolación predice los valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de los datos de las muestras en un punto geográfico, esta técnica de IDW interpola una superficie de ráster a partir de puntos utilizando una distancia inversa ponderada, la cual asume que cada punto posee una influencia que disminuye proporcionalmente a medida que aumenta la distancia, por ende, la técnica pondera con mayor fuerza los puntos cercanos y con menor intensidad aquellos ubicados a mayor distancia. (Arango et al., 2012; ESRI, 2020;2013).

7.2.6.2. Temperatura

Para este caso como se tienen muy pocas estaciones activas, el método de Interpolación no genera la suficiente veracidad de información. A partir de lo anterior y con base en el estudio de “*Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente*” realizado por el IDEAM del año 2012, se decide calcular la temperatura en un punto desconocido mediante el método de Gradiente de la Temperatura tal como se observa en la Ecuación 3.

Este método menciona que la temperatura disminuye con la altitud debido al aporte de calor latente liberado en la condensación del vapor de agua en la atmósfera, de una región donde permanentemente hay un alto contenido de este. Además, la razón de cambio de la temperatura por unidad de distancia, tiene dos gradientes, el primero es el gradiente adiabático de 10.0 C/Km (en aire seco) y el segundo es el gradiente pseudoadiabático (aire húmedo) de 6.5 C/Km. De igual forma, este método contempla que la temperatura en una atmósfera real disminuye con la altura a una razón de 6.5 °C cada kilómetro aproximadamente, además de tener en cuenta la elevación respecto al nivel del mar de las estaciones y una temperatura de referencia, obtenida de la estación con el menor porcentaje (%) de datos faltantes (Arango et al, 2012). Finalmente, los resultados de los valores promedios obtenidos fueron georreferenciados en el software de información geográfica ArcGIS Pro, mediante la técnica de Análisis, seleccionando la Herramienta de Spatial Analyst-Interpolación y por último IDW.

$$T_x = T_R - \left(\frac{0.65}{100}\right)\Delta Z$$

Ecuación 3.

Donde:

T_R : Temperatura de referencia de la estación con el menor porcentaje (%) de datos faltantes

T_x : Temperatura desconocida (°C)

ΔZ : Diferencia de alturas (m) = (Elevación de estación conocida (m) - Elevación de estación de referencia (m))

7.2.7 Información de los efectos territoriales

Para dar cumplimiento al segundo objetivo específico y analizar los efectos territoriales del cambio climático en el Putumayo, se escogieron cinco aspectos a evaluar: La población, la salud, el agua, las coberturas y los ecosistemas y biodiversidad. Se recolectó información de dichos aspectos, desde registros numéricos hasta información de estudios, investigaciones de distintas bases de datos.

7.2.8 Elaboración de las estrategias de mitigación y adaptación

Para elaborar las estrategias y dar cumplimiento al tercer objetivo específico, se recopiló y analizó las distintas estrategias existentes a nivel nacional e internacional, para finalmente ajustar y articular la información recolectada, a la realidad del territorio evidenciada con los resultados obtenidos.

8. Resultados

8.1. Selección de Estaciones

De las 75 estaciones existentes en el departamento de Putumayo, sólo 40 están activas y de estas se seleccionaron 25 que cumplían con la metodología expuesta (Figura 6), de las cuales 24 fueron para la precipitación y 6 para la temperatura; cabe aclarar que, de estas 6 estaciones, 5 fueron usadas en precipitación, sin embargo, la estación restante (Puerto Ospina) no cumplió el filtro para la precipitación y solo fue usada para temperatura. Igualmente, en la Figura 6 se referencia espacialmente una aproximación al Piedemonte Amazónico, el cual es muy relevante en el análisis de resultados. En el anexo 1, se presenta la información completa de cada estación elegida, incluyendo código, nombre, corriente, tipo estación, municipio, área operativa, área, zona y subzona hidrográfica, fecha de instalación, coordenadas y su altitud.

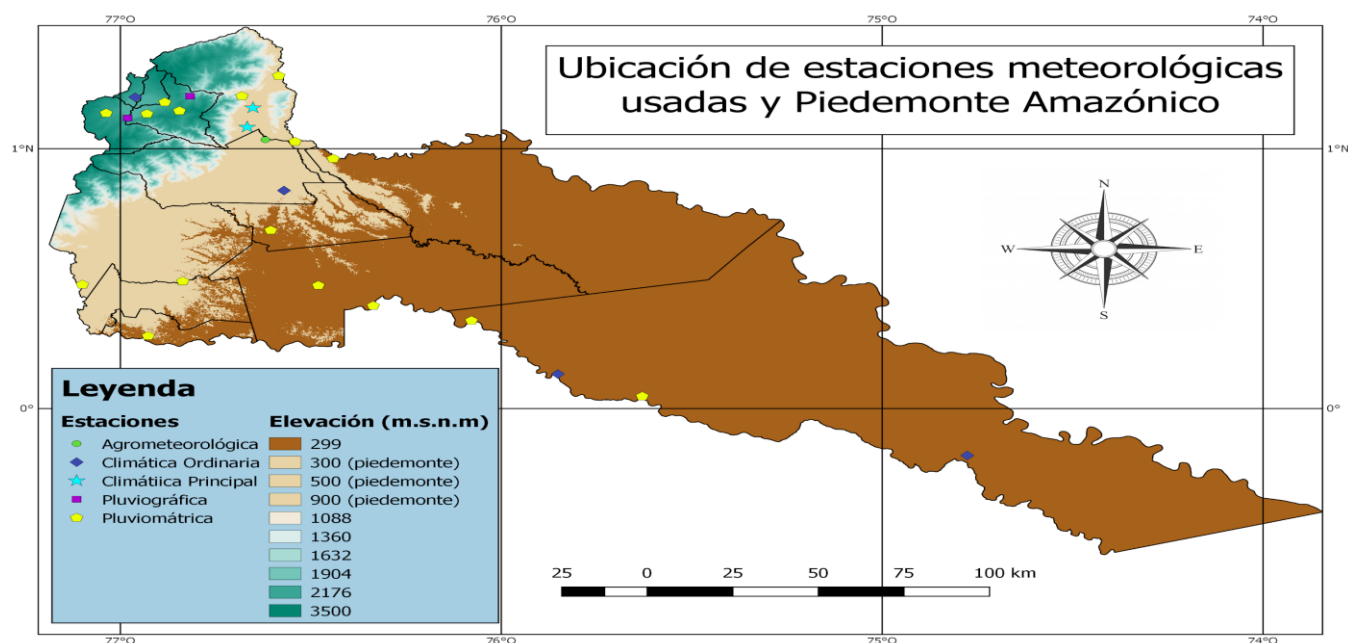


Figura 6. Ubicación de las estaciones seleccionadas y distribución del piedemonte amazónico.

Fuente: Autores (2020)

8.1.1. Precipitación

A continuación, en la tabla 4, se exhiben las estaciones usadas para la variable de precipitación, con datos como sus coordenadas, elevación y tipo de estación.

Tabla 4. Estaciones seleccionadas para la variable de precipitación.

Y (Latitud)	X (Longitud)	Elevación (m.s.n.m)	Estación	Tipo de Estación
1,15733333	-76,6518333	650	Acueducto mocoa	Climática principal automática con telemetría
0,39541667	-76,3361389	200	Angosturas	Pluviométrica convencional
1,11788889	-76,9812778	2100	Balsayaco	Pluviográfica convencional
1,2025	-76,6808333	200	Campucana	Pluviométrica convencional
1,13675	-77,0373056	2300	Carrizal	Pluviométrica convencional
1,13405556	-76,93025	2100	Chungacaspi	Pluviométrica convencional
0,47697222	-77,0997222	500	Churruyaco	Pluviométrica convencional
0,04694444	-75,6297222	195	Puerto Concepción	Pluviométrica convencional
1,2805	-76,5841944	500	Puerto Candagua	Pluviométrica convencional
0,48972222	-76,8362778	385	El Picudo	Pluviométrica convencional
1,08288889	-76,6671111	760	El Pepino	Climática principal Automática con telemetría
1,19827778	-76,9609722	2100	Michoacán	Climática ordinaria convencional
1,20211111	-76,8170833	2300	Minchoy	Pluviográfica convencional
0,47361111	-76,4802222	260	Puerto Asís	Pluviométrica convencional
0,68591667	-76,6051667	300	Puerto Caicedo	Pluviométrica convencional
-0,1806111	-74,7762778	147	Puerto Leguizamo	Climática ordinaria convencional
1,02680556	-76,5415278	430	Puerto Limón	Pluviométrica convencional
0,83897222	-76,5704444	362	Puerto Umbría	Climática ordinaria convencional
1,17894444	-76,8833889	2140	San Francisco	Pluviométrica convencional
0,33811111	-76,07825	195	San Joaquin	Pluviométrica convencional
0,27927778	-76,92725	195	San Miguel	Pluviométrica convencional
0,96155556	-76,4413611	500	Santa Lucía	Pluviométrica convencional
1,14541667	-76,845	3000	Torre Tv San Francisco	Pluviométrica convencional
1,03425	-76,61925	440	Villagarzón	Agrometeorológica convencional

Fuente: Autores (2020)

8.1.1.1. Resultados de la precipitación media anual de las estaciones seleccionadas.

Una vez se seleccionaron las 24 estaciones, se procedió a hallar la precipitación media total anual de cada estación para cada periodo (V1 y V2). Además, con base en estos resultados, se realizaron los mapas respectivos de la distribución de la precipitación en el departamento de Putumayo para las dos ventanas de tiempo analizadas.

Tabla 5. Resultado de la precipitación media total anual (mm) para V1.

x	y	Elevación (m.s.n.m)	Estación	Precipitación Media Total Anual (mm)
-76,65183333	1,15733333	650	Acueducto Mocoa	3750,81
-76,33613889	0,39541667	200	Angosturas	3843,35
-76,98127778	1,11788889	2100	Balsayaco	2075,24
-76,68083333	1,2025	200	Campucana	4058,38
-77,03730556	1,13675	2300	Carrizal	2899,51
-76,93025	1,13405556	2100	Chungacaspi	2788,55
-77,09972222	0,47697222	500	Churruyaco	5445,06
-75,62972222	0,04694444	195	Concepción	4409,31
-76,58419444	1,2805	500	Condagua	3265,33
-76,83627778	0,48972222	385	El Picudo	3702,90
-76,66711111	1,08288889	760	El Pepino	4890,88
-76,96097222	1,19827778	2100	Michoacán	1900,12
-76,81708333	1,20211111	2300	Minchoy	3360,19
-76,48022222	0,47361111	260	Puerto Asís	3724,20
-76,60516667	0,68591667	300	Puerto Caicedo	3836,85
-74,77627778	-0,1806111	147	Puerto Leguizamo	2925,86
-76,54152778	1,02680556	430	Puerto Limón	5513,38
-76,57044444	0,83897222	362	Puerto Umbria	4228,70
-76,88338889	1,17894444	2140	San Francisco	1713,94
-76,07825	0,33811111	195	San Joaquin	2704,36
-76,92725	0,27927778	195	San Miguel	3304,37
-76,44136111	0,96155556	500	Santa Lucía	4851,34
-76,845	1,14541667	3000	Torre Tv San Francisco	4571,45
-76,61925	1,03425	440	Villagarzón	5343,67
MAX				5513,38
MIN				1713,94
Promedio				3712,82

Fuente: Autores (2020)

Tabla 6. Resultado de la precipitación media total anual (mm) para V2.

x	y	Elevación (m.s.n.m)	Estación	Precipitación Media Total Anual (mm)
-76,65183333	1,15733333	650	Acueducto Mocoa	3865,74
-76,33613889	0,39541667	200	Angosturas	3651,49
-76,98127778	1,11788889	2100	Balsayaco	2044,02
-76,68083333	1,2025	200	Campucana	4019,82
-77,03730556	1,13675	2300	Carrizal	2430,50
-76,93025	1,13405556	2100	Chungacaspi	3132,54
-77,09972222	0,47697222	500	Churruyaco	6195,75
-75,62972222	0,04694444	195	Concepción	3871,37
-76,58419444	1,2805	500	Condagua	3388,37
-76,83627778	0,48972222	385	El Picudo	4286,45
-76,66711111	1,08288889	760	El Pepino	3983,02
-76,96097222	1,19827778	2100	Michoacán	1739,02
-76,81708333	1,20211111	2300	Minchoy	3527,18
-76,48022222	0,47361111	260	Puerto Asís	3601,53
-76,60516667	0,68591667	300	Puerto Caicedo	3994,99
-74,77627778	-0,1806111	147	Puerto Leguizamo	3032,10
-76,54152778	1,02680556	430	Puerto Limón	5820,99
-76,57044444	0,83897222	362	Puerto Umbria	4291,87
-76,88338889	1,17894444	2140	San Francisco	2431,21
-76,07825	0,33811111	195	San Joaquín	3997,71
-76,92725	0,27927778	195	San Miguel	3993,46
-76,44136111	0,96155556	500	Santa Lucía	4799,17
-76,845	1,14541667	3000	Torre Tv San Francisco	4643,35
-76,61925	1,03425	440	Villagarzón	5423,90
MAX				6195,75
MIN				1739,02
Promedio				3840,23

Fuente: Autores (2020)

8.1.2. Temperatura

A continuación, en la Tabla 7, se muestran las 6 estaciones usadas para la variable de temperatura seca máxima diaria.

Tabla 7. Estaciones seleccionadas para la variable temperatura.

Y	X	Elevación (m.s.n.m)	Estación	Tipo de Estación
1,15733333	-76,6518333	650	Acueducto Mocoa	Climática principal automática con telemetría
1,19827778	-76,9609722	2100	Michoacán	Climática ordinaria convencional
0,83897222	-76,5704444	362	Puerto Umbría	Climática ordinaria convencional
-0,1806111	-74,7762778	147	Puerto Leguizamo	Climática ordinaria convencional
0,13286111	-75,8511111	190	Puerto Ospina	Climática ordinaria convencional
1,03425	-76,61925	440	Villagarzón	Agrometeorológica convencional

Fuente: Autores (2020)

8.1.2.1. Resultados del método del Gradiente de la Temperatura

A partir de la metodología planteada para la variable de temperatura, se seleccionó la estación de Acueducto Mocoa, debido a que, de las 6 estaciones seleccionadas, esta cuenta con el menor porcentaje (%) de datos faltantes. De igual forma, para este caso como se conocía la elevación de las estaciones de precipitación, estas sirvieron como base para hallar la temperatura y además, fueron los resultados que se tuvieron en cuenta para realizar los mapas de la variable de cada uno de los periodos analizados, no obstante, como se contaba con los registros de estas 6 estaciones no se tuvieron en cuenta para el método del Gradiente de la Temperatura tanto para la V1 y V2.

Tabla 8. Resultados de temperatura máxima media anual (°C) de los 25 puntos evaluados para V1.

x	y	Elevación	Estación	Temperatura (°C)
-76,65183333	1,15733333	650	Acueducto Mocoa	25,38
-76,33613889	0,39541667	200	Angosturas	28,31
-76,98127778	1,11788889	2100	Balsayaco	15,96
-76,68083333	1,2025	200	Campucana	28,31
-77,03730556	1,13675	2300	Carrizal	14,66
-76,93025	1,13405556	2100	Chungacaspi	15,96
-77,09972222	0,47697222	500	Churuyaco	26,36
-75,62972222	0,04694444	195	Concepción	28,34
-76,58419444	1,2805	500	Condagua	26,36
-76,66711111	1,08288889	760	El Pepino	24,67
-76,83627778	0,48972222	385	El Picudo	27,10
-76,96097222	1,19827778	2100	Michoacán	19,26
-76,81708333	1,20211111	2300	Minchoy	14,66
-76,48022222	0,47361111	260	Puerto Asís	27,92
-76,60516667	0,68591667	300	Puerto Caicedo	27,66
-74,77627778	-0,18061111	147	Puerto Leguizamo	28,87
-76,54152778	1,02680556	430	Puerto Limón	26,81
-75,85111111	0,13286111	190	Puerto Ospina	28,73
-76,57044444	0,83897222	362	Puerto Umbría	28,90
-76,88338889	1,17894444	2140	San Francisco	15,70
-76,07825	0,33811111	195	San Joaquin	28,34
-76,92725	0,27927778	195	San Miguel	28,34
-76,44136111	0,96155556	500	Santa Lucía	26,36
-76,845	1,14541667	3000	Torre TV-San Francisco	10,11
-76,61925	1,03425	440	Villagarzón	27,03
MAX				28,90
MIN				10,11
Promedio				24,00

Tabla 9. Resultados de temperatura máxima media anual (°C) de los 25 puntos evaluados para V2.

x	y	Elevación	Estación	Temperatura (°C)
-76,6518333	1,15733333	650	Acueducto Mocoa	26,40
-76,3361389	0,39541667	200	Angosturas	29,32
-76,9812778	1,11788889	2100	Balsayaco	16,97
-76,6808333	1,2025	200	Campucana	29,32
-77,0373056	1,13675	2300	Carrizal	15,67
-76,93025	1,13405556	2100	Chungacaspi	16,97
-77,0997222	0,47697222	500	Churuyaco	27,37
-75,6297222	0,04694444	195	Concepción	29,35
-76,5841944	1,2805	500	Condagua	27,37
-76,6671111	1,08288889	760	El Pepino	25,68
-76,8362778	0,48972222	385	El Picudo	28,12
-76,9609722	1,19827778	2100	Michoacán	19,76
-76,8170833	1,20211111	2300	Minchoy	15,67
-76,4802222	0,47361111	260	Puerto Asís	28,93
-76,6051667	0,68591667	300	Puerto Caicedo	28,67
-74,7762778	-0,1806111	147	Puerto Leguizamo	29,33
-76,5415278	1,02680556	430	Puerto Limón	27,83
-75,8511111	0,13286111	190	Puerto Ospina	29,05
-76,5704444	0,83897222	362	Puerto Umbira	28,60
-76,8833889	1,17894444	2140	San Francisco	16,71
-76,07825	0,33811111	195	San Joaquin	29,35
-76,92725	0,27927778	195	San Miguel	29,35
-76,4413611	0,96155556	500	Santa Lucía	27,37
-76,845	1,14541667	3000	Torre TV-San Francisco	11,12
-76,61925	1,03425	440	Villagarzón	28,20
MAX				29,35
MIN				11,12
Promedio				24,90

Fuente: Autores (2020)

8.2. Resultados de t-Student y la Prueba de Normalidad de Kolmogorov Smirnov

Mediante la prueba de t-Student se puede establecer estadísticamente si existe un cambio en la variable de precipitación, en donde se encontraron que, de las 24 estaciones seleccionadas, 17 muestran una “Hipótesis Nula= H_0 ” representando que no existe una diferencia significativa en las medias de precipitación y 7 estaciones muestran una “Hipótesis Alterna= H_1 ” representando que si existe una diferencia significativa en las medias de precipitación (Tabla 10). Este resultado es de utilidad para nuestro posterior análisis de resultados al detectar los cambios más grandes en la variable, ya que se espera variación en todas las estaciones por la realidad de cambio climático. Así mismo, en la prueba de Kolmogorov Smirnov se pudo establecer que, de las 24 estaciones, 18 muestran una “Hipótesis Nula= H_0 ” representando que provienen de una distribución normal y 6 estaciones muestran “Hipótesis Alternativa= H_a ” representado que no provienen de una distribución normal. En este sentido, se establece que la mayoría parte de las estaciones se comportan dentro de una distribución normal, lo que sirve para nuestra investigación al corroborar que el llenado de datos faltantes fue adecuado al no existir muchas estaciones con datos atípicos, lo que es evidenciado por una distribución no normal.

Tabla 10. Resultados de t-Student y la prueba de Normalidad de Kolmogorov Smirnov para la variable precipitación.

Estaciones	Valor-p (T<=t) dos colas	Valor crítico de t (dos colas)	t-Student	Valor Kolmogorov (valor-p (bilateral))	Kolmogorov
Acueducto mocoa	0,35587303	2,13144955		0,699	
Angosturas	0,52009755	2,13144955		0,699	
Balsayaco	0,59703685	2,13144955		0,941	
Campucana	0,78314008	2,13144955		0,941	
Carrizal	0,02404782	2,13144955		0,037	
Chungacaspi	0,0067034	2,13144955		0,211	
Churruyaco	0,09896996	2,13144955		0,415	
Concepción	0,29040307	2,13144955		0,094	
Condagua	0,23366906	2,13144955		0,699	
El Picudo	0,02549814	2,13144955		0,013	
El Pepino	0,000001691	2,13144955		0,001	
Michoacán	0,40243045	2,13144955		0,941	
Minchoy	0,22769287	2,13144955		< 0,0001	
Puerto Asis	0,33244677	2,13144955		0,66	
Puerto Caicedo	0,61756616	2,13144955		0,66	
Puerto Leguizamó	0,22824063	2,13144955		0,375	
Puerto Limón	0,16975802	2,13144955		0,66	
Puerto Umbría	0,71429079	2,13144955		0,375	
San Francisco	0,00000220	2,13144955		0,028	
San Joaquin	0,00588906	2,13144955		0,003	
San Miguel	0,04986158	2,13144955		0,076	
Santa Lucia	0,77401902	2,13144955		0,66	
Torre Tv San Francisco	0,75808473	2,13144955		0,66	
Villagarzón	0,68668176	2,13144955		0,66	

La tabla 10 muestra dos colores para la prueba de t-Student donde verde hace alusión a la “Hipótesis Alterna= H_1 ” y el color rojo “Hipótesis Nula= H_0 ”. Igualmente, para la prueba de Kolmogorov Smirnov el color verde hace alusión a la “Hipótesis Alternativa= H_1 ” y el color naranja “Hipótesis Nula= H_0 ”

Fuente: Autores (2020)

8.3. Zonificación espacio temporal del cambio climático en el departamento del Putumayo

A continuación, se presentan los resultados de la zonificación espacio temporal, por medio de cuatro mapas, para cada una de las ventanas analizadas, es decir en total dos de precipitación y dos de temperatura. Adicionalmente, es importante mencionar que en el Putumayo Alto, debido al tamaño de los municipios, se puede dificultar la observación de la salida gráfica, por tal motivo, en los anexos 2 y 3 se presenta un acercamiento en la zona para apreciar mejor los resultados.

8.3.1. Precipitación

Se obtuvieron dos mapas de precipitación media total anual en milímetros (mm) por medio del software ArcGIS Pro según la metodología propuesta. El primer mapa (Figura 7) comprende la ventana 1 (el periodo de 1988 a 2003), donde se evidencia que los municipios de San Francisco, Colón, Sibundoy y Santiago, registran las precipitaciones más bajas del departamento, así mismo, en los municipios de

Orito, Villagarzón, Puerto Caicedo y Mocoa evidencian la más altas seguido por los municipios de San Miguel, Puerto Asís, Puerto Guzmán, Valle del Guamuez y Puerto Leguizamo que registran una precipitación intermedia. La precipitación máxima promedio en este periodo se registró en la estación Puerto Limón del municipio de Mocoa, con una precipitación de 5.513 mm. Por su parte, la mínima se dio en la estación San Francisco del municipio del mismo nombre, con una cantidad de 1.714 mm. Para esta ventana, se registra un promedio de 3.713 mm para todo el departamento.

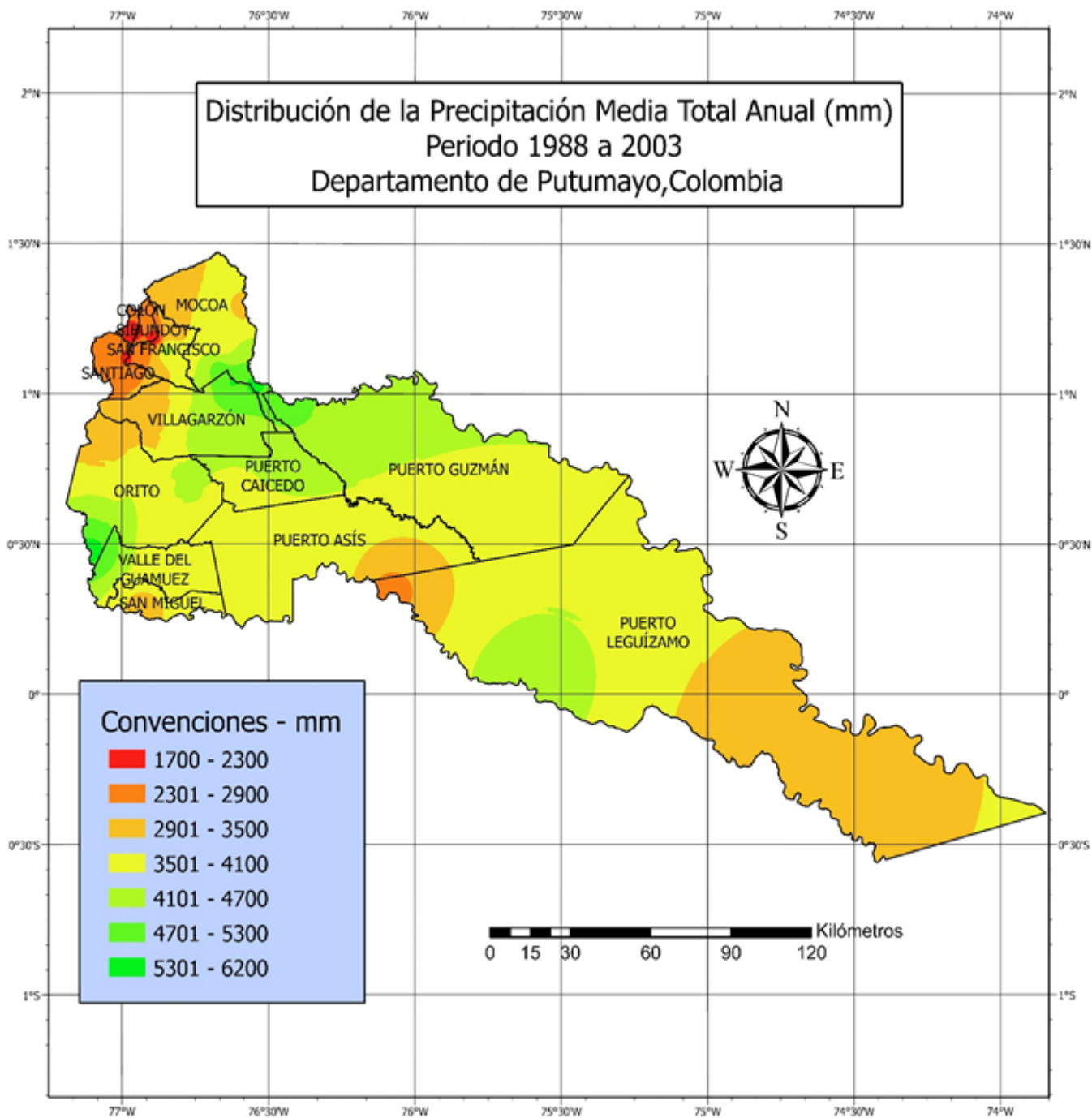


Figura 7. Mapa de la distribución de la Precipitación Media Total Anual (mm) entre los años de 1988 a 2003 en el departamento de Putumayo, Colombia.

Fuente: Autores (2020)

El segundo mapa (Figura 8) comprende la ventana 2 (el periodo de 2004 a 2019), en este se evidencia que nuevamente, en los municipios de Sibundoy y Colón la precipitación es baja, seguidos de los municipios de Santiago, San Francisco y la parte Sur de Puerto Leguizamo, caso contrario de Puerto Guzmán, Puerto Caicedo, Valle del Guamuez, San Miguel, la parte Sur de los municipios de Mocoa, Villagarzón y Orito, que registran una alta precipitación. Así mismo, se evidencia en Puerto Asís, Norte de Puerto Leguizamo y gran parte de Mocoa una precipitación intermedia.

Además, se registra que la precipitación máxima fue de la estación Churruyaco, municipio Orito, con una cantidad de 6.196 mm., En el opuesto, la mínima fue de 1.739 en la estación Michoacán, municipio de Colón. De igual forma, se establece que la precipitación promedio para estos 16 años analizados fue de 3.840 mm.

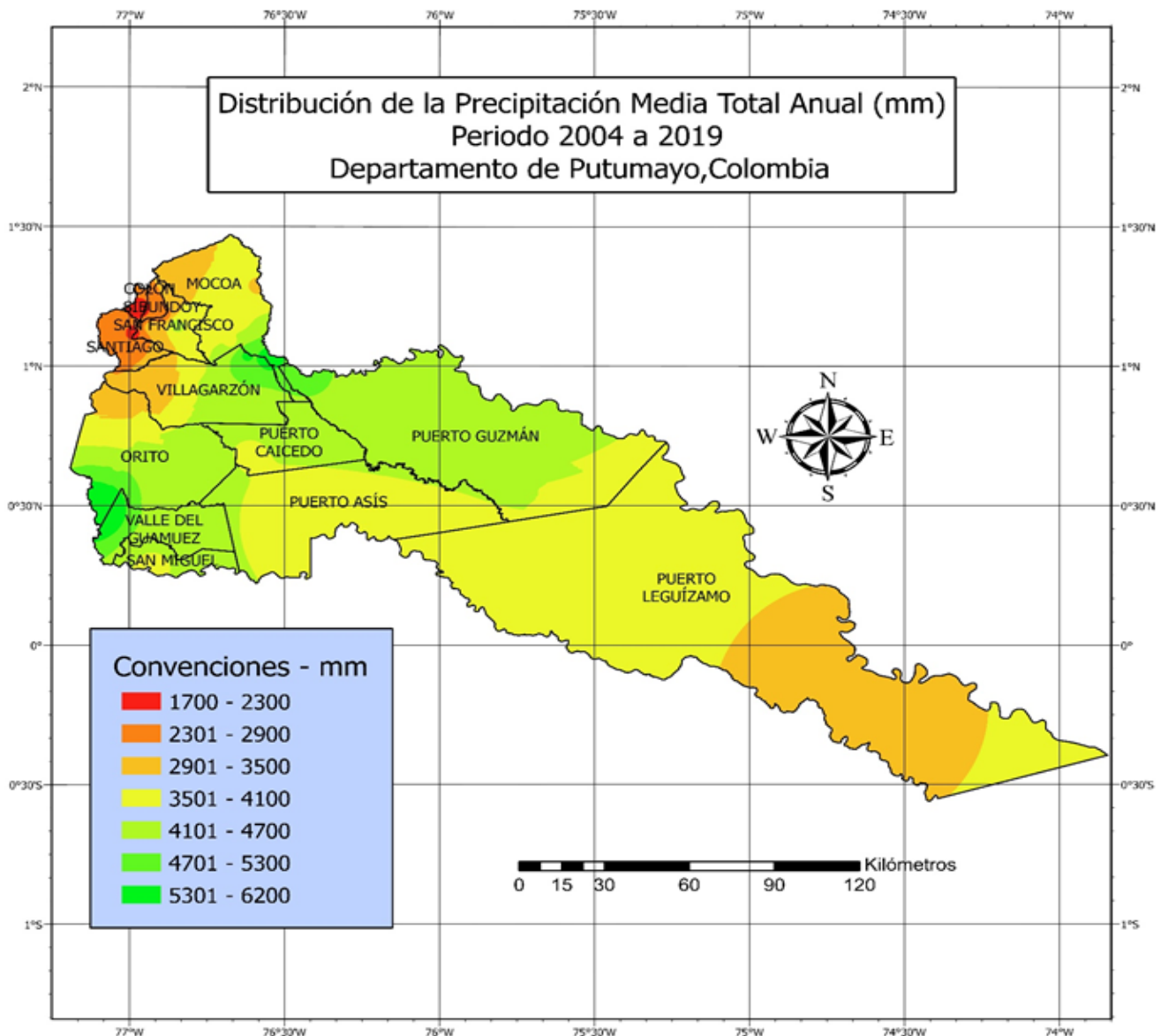


Figura 8. Mapa de la distribución de la Precipitación Media Total Anual (mm) entre los años de 2004 a 2019 en el departamento de Putumayo, Colombia.
Fuente: Autores (2020)

8.3.2. Temperatura

Al igual que para la precipitación, se generaron dos mapas que representan la distribución espacial y temporal de la temperatura máxima, para los dos períodos en cuestión analizados. Para la primera ventana (Figura 9) se evidencia la mayor temperatura en el municipio de Puerto Leguízamo, le siguen Puerto Guzmán, Puerto Caicedo, Puerto Asís, Valle del Guamuez y San Miguel, con dos rangos distintos. Los municipios de Villagarzón, Orito y Mocoa presentan 4 rangos de temperatura diferentes, disminuyendo a medida de la cercanía a los puntos altos, donde los municipios de Sibundoy, Colón, Santiago y San Francisco registran las temperaturas más bajas.

La menor temperatura de la ventana es de la estación Torre TV-San Francisco con 10,11 °C, del otro lado la mayor fue en la estación de Puerto Umbría, en Villagarzón, con 28,90 °C. El promedio departamental fue de 24 °C.

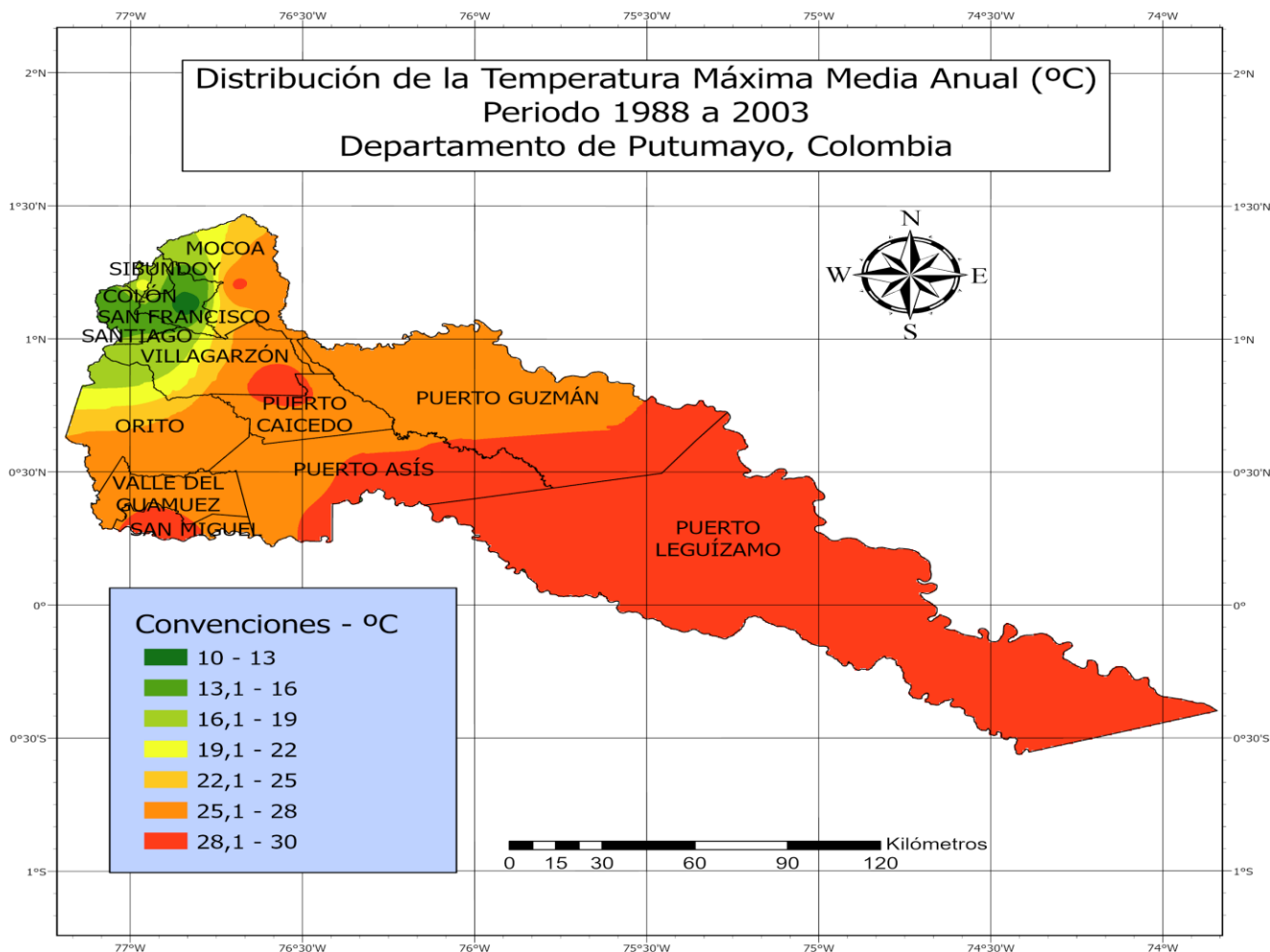


Figura 9. Mapa de la distribución de la Temperatura Máxima Media Anual (°C) entre los años de 1988 a 2003 en el departamento de Putumayo, Colombia.
Fuente: Autores (2020)

La ventana 2 (Figura 10) evidencia un aumento de la temperatura en todo el departamento, la distribución en Sibundoy, Colón, Santiago y San Francisco es muy similar a la de la V1, cambiando únicamente en aumento de la temperatura, no obstante, continúan siendo los de valores menores. La transición continua por los municipios de Mocoa, Orito, Villagarzón, Valle del Guamuez, Puerto Guzmán y Puerto Caicedo hasta llegar a los municipios de la zona baja donde se encuentra el rango máximo de temperatura de manera uniforme.

La menor temperatura fue nuevamente en la estación Torre Tv-San Francisco, con 11,12 °C, mientras que la mayor fue en la estación San Miguel con 29,35 °C. El promedio en el departamento fue de 24,9 °C.

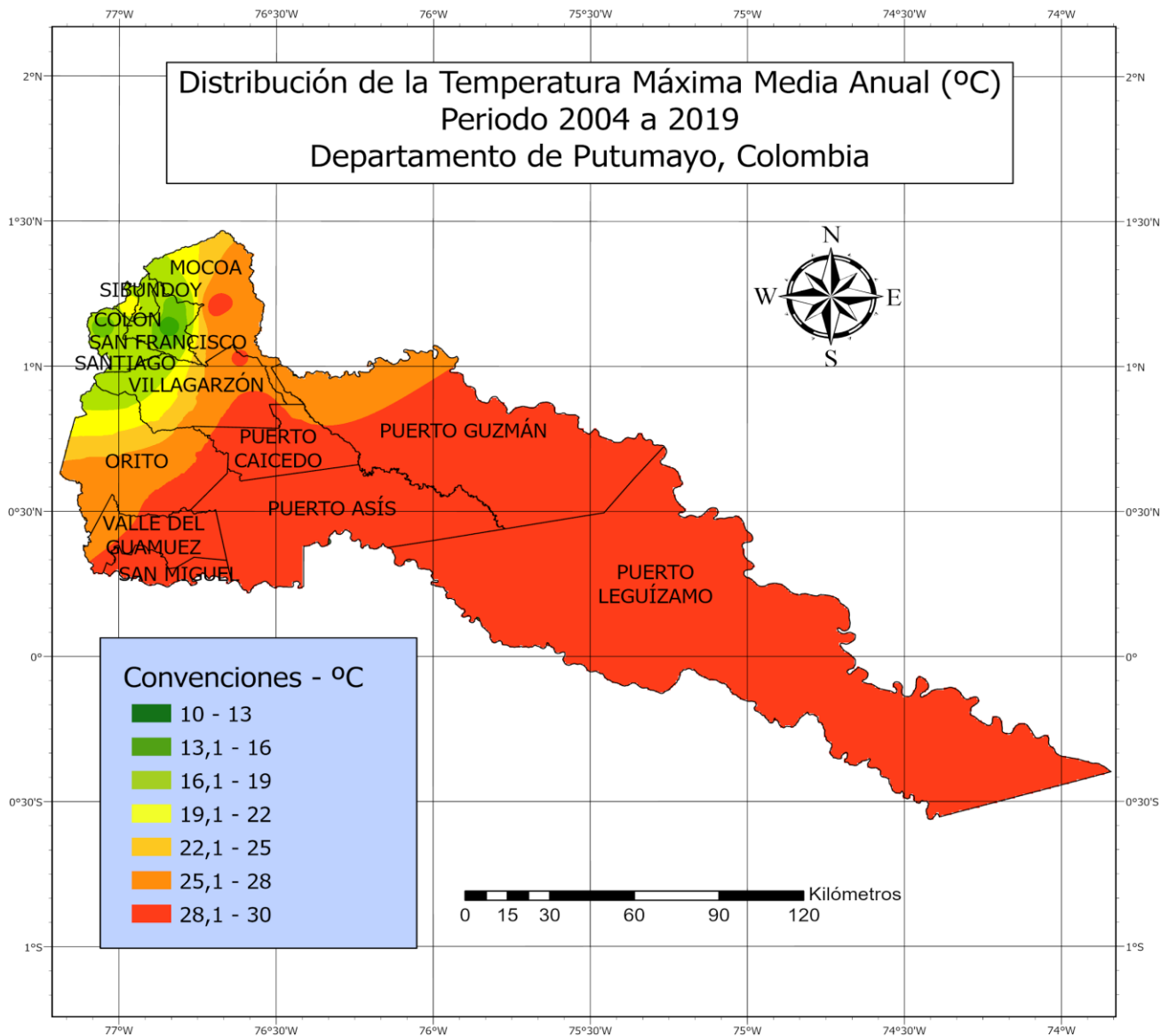


Figura 10. Mapa de la distribución de la Temperatura Máxima Media Anual (°C) entre los años de 2004 a 2019 en el departamento de Putumayo, Colombia.

Fuente: Autores (2020)

8.4. Variación de la precipitación

Una vez se obtuvieron los valores de la precipitación media total anual para cada una de las dos ventanas de comparación, se calcularon los resultados de la diferencia entre ellas. A partir de lo anterior, se refleja el cambio en el departamento debido a que como se observa en la tabla 11, hay variaciones en todos los municipios, siendo San Miguel el de mayor aumento promedio (21%) y Santiago el de mayor disminución (-9%).

En cuanto al mayor aumento y disminución en el departamento, la estación San Joaquín, localizada en Puerto Leguízamo, con 48%, presentó la máxima variación de aumento, es decir, un cambio notable en la parte suroccidental del municipio. Por otro lado, la estación El Pepino, localizada en Mocoa, evidencia la mayor disminución, con una variación de -19%, representando que, en la parte sur de este municipio la precipitación disminuyó significativamente.

Tabla 11. Variación de la precipitación.

Municipio	Estaciones					Max Aumento	Max Disminución	Variación prom
Colón	Michoacán							-8%
Mocoa	Acueducto Mocoa	Campucana	Condagua	El Pepino	Puerto Limón	6%	-19%	-1%
Orito	Churruyaco	El Picudo				16%		15%
Puerto Asís	Angosturas	Puerto Asís					-5%	-4%
Puerto Caicedo	Puerto Caicedo							4%
Puerto Guzmán	Santa Lucía							-1%
Puerto Leguízamo	Concepción	Puerto Leguízamo	San Joaquín			48%	-12%	13%
San Francisco	Chungacaspi	Minchay	San Francisco	Torre Tv Sfco		42%		15%
San Miguel	San Miguel							21%
Santiago	Balsayaco	Carrizal					-16%	-9%
Villagarzón	Puerto Umbría	Villagarzón				2%		1%

Fuente: Autores (2020)

8.5. Variación de la temperatura

Respecto a la variación de la temperatura, la tendencia de aumento es clara en todos los municipios, en mayor medida en Santiago y San Francisco con 7% de incremento. No obstante, se calculó una leve disminución de 1% en la estación Puerto Umbría, del municipio Villagarzón, siendo el cambio tan mínimo que no es evidenciable en los mapas. Por otro lado, la estación Torre Tv San Francisco, ubicada en la parte central del municipio, exhibió la mayor variación con un 10%, y contrariamente de manera sorpresiva la estación Puerto Umbría de Villagarzón registró una leve disminución de 1%, la única en el departamento. Además, los resultados obtenidos en muchas estaciones son el mismo valor debido a que como se evidenció en el método del Gradiente de la Temperatura, este tiene en cuenta la altura para hallar la temperatura y mucha de estas estaciones tienen la misma altura.

Tabla 12. *Variación de la temperatura.*

Municipio	Estaciones					Max Aumento	Max Disminución	Variación prom
Colón	Michoacán							3%
Mocoa	Acueducto Mocoa	Campucana	Condagua	El Pepino	Puerto Limón	4%		4%
Orito	Churruyaco	El Picudo				4%		4%
Puerto Asís	Angosturas	Puerto Asís				4%		4%
Puerto Caicedo	Puerto Caicedo							4%
Puerto Guzmán	Santa Lucía							4%
Puerto Leguizamo	Concepción	Puerto Leguizamo	San Joaquín	Puerto Ospina		4%		3%
San Francisco	Chungacaspi	Minchoy	San Francisco	Torre Tv Sfco		10%		7%
San Miguel	San Miguel							4%
Santiago	Balsayaco	Carrizal				7%		7%
Villagarzón	Puerto Umbria	Villagarzón				4%	-1%	2%

Fuente: Autores (2020)

8.6. Dinámica de la distribución espacio temporal del cambio climático

El comportamiento de la distribución espacio temporal del cambio climático se ve evidenciado en los cambios observados en las variables de precipitación y temperatura, a su vez, es claro que para poder determinar dicho comportamiento, es fundamental explicar las variaciones de cada parámetro y su distribución en el territorio. A partir de lo anterior, y con base en los valores obtenidos, para facilidad de plasmar los resultados y análisis, se considera para este proyecto que los rangos entre 1.700 a 2.900 mm es baja precipitación, entre 2.901 a 4.100 mm es media y entre 4.101 a 6.200 mm es alta. A su vez, los rangos entre 10 a 16 °C representan una temperatura baja, entre 16,1 a 25 °C media y finalmente entre 25,1 a 30 °C alta.

8.6.1. Comportamiento de la distribución espacio temporal de la precipitación

En el departamento, se evidencia que, temporalmente existe principalmente un aumento de la precipitación en la V2 frente a la V1, así mismo, se identifica espacialmente un cambio en el régimen de precipitación, especialmente de aumento en la V2 en la mayor parte de los municipios localizados en el Putumayo Medio y de manera más leve en el Bajo Putumayo. Sin embargo, también ocurrió una disminución en algunas zonas del Putumayo Bajo y Alto.

A partir de los resultados estadísticos, la zonificación en ArcGIS Pro y de la división del departamento (Figura 4), se establece que la distribución espacio temporal de la precipitación para el departamento del Putumayo se comportó de la siguiente manera:

En el Putumayo Bajo, para la V1 se observa que en el municipio de Puerto Leguizamo en los límites de la zona Sur de Puerto Asís, presenta una precipitación baja y para el municipio de San Miguel se presenta este mismo comportamiento en la zona Sur y así mismo, este último registra en el resto de sus zonas una precipitación media, al igual que en los municipios de Puerto Guzmán en su zona Sur, Puerto Asís zona

Central y Norte y Valle del Guamuez en su zonas Centro y Este. Igualmente, este último municipio en su zona Oeste registra los más altos valores para el Bajo Putumayo, seguido de gran parte del Norte de Puerto Guzmán con una alta cantidad, al igual que un pequeño foco localizado en Puerto Leguizamo en el Noroccidente. Respecto de la V2, en Puerto Leguizamo se evidencia un cambio que va de baja a media en su zona del límite Occidental y pasando de precipitación alta a media en un foco evidenciable cercana a la parte central, a su vez, la gran mayoría sigue permaneciendo con valores medios tal como en la V1. Puerto Guzmán en la mayor parte de su territorio muestra claro el aumento de lluvia, pasando de media a alta en su zona Central y parte Sur mientras que en el Norte sigue estando dentro del rango descrito en la V1. En Puerto Asís se ve el aumento de la zona Oeste pasando de una precipitación media a alta, e igualmente de una baja a media en su zona Sur, sin embargo, en gran parte de su parte central se mantiene en precipitación media. De igual forma, San Miguel fue uno de los municipios en el que se evidenció un mayor cambio de aumento, pasando de bajo a alto en la mayor parte de este. Por último, en Valle del Guamuez, se observó aumento en la mayoría del territorio, pasando de lluvia media a alta en su zona Este y Centro, siendo nuevamente el municipio con el registro más alto de precipitación para el Putumayo Bajo.

En el Putumayo Medio, respecto a la V1 se observa que en el Sur de Puerto Caicedo, se presenta precipitación media mientras que en el Norte es alta; el municipio de Orito en la parte Norte presenta baja precipitación, mientras en las zonas Este y Oeste es alta y para el resto del municipio media. También, Villagarzón, en su lado Este, registra una de las mayores precipitaciones para el Putumayo Medio con un rango alto, mientras que en el Oeste es bajo y en la zona central media. Por último, en Mocoa se evidencia la precipitación más alta del Putumayo Medio en toda su parte Sur, mientras que, en el Norte y parte central, presenta lluvias de rango medio, mientras en el Oeste y parte del Este la precipitación es baja. Para la V2, se observa que en Puerto Caicedo, Villagarzón y Mocoa, el cambio no es muy significativo respecto de la V1, destacando leves aumentos en algunas zonas de Puerto Caicedo y Villagarzón, por otro lado, en Orito los incrementos son en la mayoría del territorio, con una precipitación alta, a excepción del Norte, que reporta el mismo comportamiento que la V1.

Los municipios pertenecientes al Putumayo Alto reflejan una característica importante, ya que tanto para la V1 y V2, registran las precipitaciones más bajas del departamento. Para el primer periodo analizado, se evidencia que en Santiago la precipitación es baja a excepción de una pequeña franja en el límite Este, donde ésta es media; el municipio de Colón registra la precipitación más baja del departamento, pero en su zona Norte, exhibe valores que van hasta los 2.900 mm. Sibundoy tiene registros bajos en la mayor parte del territorio, pero especialmente en los límites con Colón. Para finalizar, San Francisco registra, al igual que los municipios de Colón y Sibundoy, lluvias bajas en su zona Norte y Oeste, seguida de un rango medio en el Sur y Este. Respecto a la V2, el cambio no es significativo, ya que se puede observar que en Colón y Santiago disminuyó la precipitación, sin embargo, de forma no significativa, mostrando una similitud del comportamiento descrita en la V1 y San Francisco, aumentó la precipitación de forma significativa, mientras que para el municipio de Sibundoy se evidencia una disminución, sin embargo; sigue evidenciándose comportamiento de precipitación baja, tal como en la V1. Finalmente, el municipio de Colón registra nuevamente la precipitación más baja del departamento.

8.6.2 Comportamiento de la distribución espacio temporal de la temperatura

En cuanto a la temperatura en el departamento, está aumentó, aproximadamente un 4% que representa 0,9 °C. Los mayores cambios se evidencian especialmente en el Bajo y Alto y algunas zonas del Medio Putumayo.

En el Putumayo Bajo, tanto en la V1 y V2 la temperatura es alta en su totalidad, con los mayores valores en Puerto Leguízamo, la mayoría de San Miguel y las zonas Este de Puerto Guzmán y Puerto Asís en la V1. Para el segundo periodo, se evidencian los incrementos de 25,1 - 28 °C hacia 28,1 - 30 °C en la totalidad de Puerto Asís y San Miguel y la mayor parte de Valle del Guamuez y Puerto Guzmán. Puerto Leguízamo sigue manteniendo los mayores valores.

Para Putumayo Medio, Puerto Asís fue el único que presentó únicamente alta temperatura en ambas ventanas, ya que los demás (Orito, Mocoa, Villagarzón) en ambos periodos registró temperatura media y alta. El cambio entre ventanas se evidencia principalmente en Puerto Asís, ya que en la V2, la mayoría del municipio queda con valores superiores a 28,1 °C, aunque los demás también tienen un aumento a estos valores, es en menor medida, Orito en una franja en el Sureste y Mocoa en un par de “núcleos” uno en la zona central y otro en el límite con Villagarzón. El resto de la extensión de estos tres municipios no muestran variaciones notables.

En cuanto al Putumayo Alto, la temperatura es baja y media en la mayor parte de los municipios para ambas ventanas, principalmente en San Francisco y Santiago que evidencian los valores más bajos. El cambio entre la V1 y V2, es especialmente notable en dichos municipios junto a Colón, el aumento se dio en la mayor parte de estos, quedando en su mayoría temperatura media, siendo Colón -al igual que en la ventana 1- el municipio con mayor temperatura de esta zona.

8.7. Identificación de los efectos territoriales del cambio climático en el departamento del Putumayo

A partir de los resultados obtenidos en el comportamiento de la distribución espacio temporal del cambio climático se realiza la identificación de los posibles efectos territoriales a través de los componentes de población, salud, coberturas, agua y ecosistemas y biodiversidad.

8.7.1 Población

En este sentido, el primer componente es la población, la cual, según los resultados del Censo General 2005 del DANE, era de 310.132 personas para ese año, de los cuales 135.616 se localizaban en cabeceras municipales; mientras, a nivel nacional la población era de 42'888.592, de los cuales 31.890.892 vivían en cabeceras. Para 2018, según el Censo Nacional de Población y Vivienda de tal año, la población departamental fue de 348.182 con 174.539 personas en las cabeceras; mientras que en el país la cantidad era de 48'258.294, de los cuales 36'424.653 estaban en las cabeceras municipales.

Aunque en el departamento hubo un incremento general de personas, en los municipios ocurrieron dinámicas particulares, en la tabla 13 se muestra dicha información, la cual fue analizada y sintetizada de los censos de 2005 y 2018 realizados por el DANE.

Tabla 13. Población municipal de los años 2005 y 2018 y su respectivo cambio.

Municipio	2005			2018			Cambio	
	Total	Cabecera municipal	Centros poblados y rural disperso	Total	Cabecera municipal	Centros poblados y rural disperso	Total	Cabecera
Mocoa	35755	25751	10004	56398	38457	17941	58%	49%
Colón	5166	2935	2231	5407	3419	1988	5%	16%
Orito	43654	17207	26447	37745	19833	17912	-14%	15%
Puerto Asís	55759	27609	28150	64867	38901	25966	16%	41%
Puerto Caicedo	14206	4144	10062	16095	6089	10006	13%	47%
Puerto Guzmán	22679	3706	18973	35390	4629	30761	56%	25%
Puerto Leguizamo	16044	7108	8936	28468	12755	15713	77%	79%
Sibundoy	13270	9148	4122	14940	10059	4881	13%	10%
San Francisco	6808	3713	3095	5645	3385	2260	-17%	-9%
San Miguel	21838	4752	17086	18780	4912	13868	-14%	3%
Santiago	9209	3133	6076	7290	3476	3814	-21%	11%
Valle del Guamuez	44959	17341	27618	33457	14882	18575	-26%	-14%
Villagarzón	20785	9069	11716	23700	13742	9958	14%	52%
TOTAL	310132	135616	174516	348182	174539	173643	12%	29%

Fuente: Autores (2020). Con información del DANE (2005, 2018).

8.7.2. Salud

Debido a la gran importancia que este tiene respecto a la población, al ser una dimensión vulnerable a los efectos generados por el cambio climático ocasionando a corto, mediano y largo plazo, se pueden suscitar afectaciones que causan posibles desajustes en las dinámicas socioeconómicas y culturales. En tal sentido, con los resultados obtenidos en el aumento de la precipitación y temperatura principalmente en el Putumayo Medio y Bajo, se evidencia que estas zonas del departamento son más vulnerables, pudiendo ocasionar aumento de enfermedades asociadas a vectores en zonas endémicas y la aparición en zonas no endémicas, Putumayo registra anualmente un promedio de 3.800 casos de solo malaria, en donde los municipios de Puerto Asís y Puerto Leguizamo aportan el 50% de ellos (Orjuela, Herrera, Erazo y Quiñones, 2013). Igualmente, en el Quinto reporte de evaluación del IPCC, hacen mención que los cambios en la temperatura y precipitación extrema, generan la propagación de enfermedades asociadas a vectores y enfermedades transmitidas por el agua, una vez más evidenciado un riesgo alto para este tipo de enfermedades en estas zonas del departamento de Putumayo (IPCC, 2014b).

El Putumayo Alto, evidencia precipitación y temperatura baja, por lo que las condiciones pueden generar factores de riesgo asociados a la desnutrición en poblaciones vulnerables, por la disminución de sistemas de producción agrícola y falta de acceso al recurso hídrico, asimismo, Caldera, Escobar y Ortega (2012), mencionan que la población más afectada por los efectos del cambio climático es la infantil de 0 a 5 años, debido a que es el grupo de edad en el que existe una mayor prevalencia de desnutrición y anemia en

regiones vulnerables, por motivo de debilitamiento del organismo que aún no es maduro, predisponiendo así la ocurrencia de enfermedades gastrointestinales.

8.7.3. Agua

Los efectos del cambio climático en el recurso hídrico se pueden ver reflejados en todo el departamento. Con base en el documento de *“Determinantes y asuntos ambientales para el ordenamiento territorial en el departamento del putumayo”*, se evidencia la presencia del ecosistema humedal distribuido en todo el departamento, respecto a esto, para la zona del Putumayo Alto existe un complejo de dieciocho (18) humedales, con un área total de 238,7 ha, distribuidas en el Valle de Sibundoy conformado por los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco. Estos humedales sirven de amortiguador de los flujos hídricos de la cordillera de los Andes presente en el departamento, actuando como receptores de agua, lo que impide y/o mitiga las inundaciones que se originan en época de alta pluviosidad, además, mantienen la calidad del agua y el nivel freático de toda la zona. A partir de los resultados de baja precipitación junto a tendencias de disminución obtenidos para el Putumayo Alto, se podría relacionar que este ecosistema está altamente en riesgo, a comparación de los presentes en el Putumayo Medio y Bajo, debido a un posible cambio en el comportamiento del nivel del agua en épocas secas, lo que puede generar la pérdida del espejo de agua, no obstante, en estas zonas se pueden presentar fenómenos extremos de lluvia generando el desbordamiento del agua presente en los humedales, causando de esta forma una afectación directa, tanto en las interacciones ecológicas, como de las dinámicas socioeconómicas asociadas al ecosistema. En este último sentido, se ha identificado que los municipios más afectados por la ocurrencia de deslizamientos y remoción en masa están localizados en las áreas de montaña, especialmente en los municipios de Putumayo Alto y en la parte alta de algunos municipios pertenecientes al Putumayo Medio (Mocoa, Villagarzón y Orito) (CORPOAMAZONIA, 2014).

Adicionalmente, en la zona del Putumayo Alto se encuentra la cuenca hidrográfica alta del Río Putumayo, entre los 01° 20' y 01° 02' de latitud Norte y los 76° 50' y 77° 09' de longitud Oeste, lo que permite tener una fuerte interacción con el ecosistema humedal anteriormente mencionado, ya que la parte alta de este río recorre al Valle de Sibundoy. La cuenca alta cuenta con un área de 45.987 ha y su colector principal es el Río Putumayo, recogiendo las aguas de todas las fuentes hídricas que irrigan la llanura lacustre del Valle, también se suma el hecho importante de que es uno de los principales tributarios de la gran cuenca Amazónica. El Río Putumayo nace a una altitud superior a los 3.500 m.s.n.m luego de atravesar ecosistemas como páramos, bosques andinos y bosques húmedos tropicales de tierra firme, la cuenca hidrográfica en su totalidad cuenta con un área de 11.952.000 ha entre las fronteras con Ecuador, Perú y Brasil, en casi toda su extensión y en su recorrido, desde su nacimiento hasta su desembocadura, pasa por asentamientos como La Castellana, Puerto Caicedo, San Pedro, Santana y Puerto Asís (CORPOAMAZONIA, WWF, Convenio Andrés Bello y Asociación AMPORÁ, 2009; CORPOAMAZONIA, 2014). Es de resaltar que la zona del Putumayo Alto alberga una cantidad numerosa e importante de ecosistemas asociados al agua cuyos servicios son fundamentales tanto para generar conectividades ecosistémicas a gran escala como la función de mitigación a los efectos del cambio climático, no obstante, con los resultados encontrados en la distribución espaciotemporal de las variables analizadas en esta zona, queda en evidencia que todo este complejo de ecosistemas y la cuenca alta del río Putumayo se encuentran en un grado alto de riesgo, por la posible pérdida de sus cuerpos de agua y sus servicios ecosistémicos, debido a la influencia tan fuerte de actividades antrópicas y las posibles variaciones asociadas a fenómenos extremos, que se pueden presentar teniendo en cuenta que en esta zona del Putumayo se evidencia el comportamiento más bajo de la precipitación de todo el

departamento. IDEAM et al 2017a, también establece un riesgo y vulnerabilidad alto por recurso hídrico en los municipios del Putumayo Alto.

En el Putumayo Medio se establece que hay el comportamiento más alto de precipitación en el departamento. A través del Estudio Nacional de Agua publicado por el IDEAM (2018a), se reporta que existen 7.348 Km² de zonas potencialmente inundables por zona hidrográfica para el departamento del Putumayo y de estos, 916 Km² corresponde a zonas potencialmente inundables transformadas así como 6.431 km² a zonas potencialmente inundables naturales o seminaturales por zona hidrográfica, lo que genera desde el punto de vista ecológico, que estas zonas inundables constituyan humedales que cumplen diversas funciones ecosistémicas, entre ellas la mitigación al cambio climático al servir como sumideros de carbono, sin embargo, se está facilitando su proceso de transformación progresivo a sistemas de carácter agropecuario, zonas urbanas o de cambio de usos del suelo (IDEAM, 2018). Además, con los resultados obtenidos se evidencia un aumento de la probabilidad de inundaciones, avalanchas y remociones en masa en la parte Sur de Mocoa, en algunas zonas de Puerto Caicedo, Villagarzón y Orito y en la mayoría de Puerto Guzmán y Valle del Guamuez al presentar las lluvias más altas del departamento. De lo anterior se tiene como antecedente el desastre de Mocoa en el año 2017, producto del desbordamiento de los ríos Mulato, Mocoa y Sangoyaco por las altas precipitaciones, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y la Pontificia Universidad Javeriana (2018) mencionan que Mocoa se encuentra frente a una susceptibilidad geofísica e hidrológica generando condiciones de riesgo y materializándose en pérdidas materiales y humanas, en esta instancia, es claro la estrecha relación de las condiciones topográficas con los cuerpos de aguas y la precipitación que están presentes en estos municipios anteriormente mencionados, ya que al encontrarse con altas precipitaciones y tendencias de aumento, podría presentarse nuevamente un fenómeno extremo asociado a lluvias torrenciales (como en Mocoa) generando afectaciones directas a las personas.

En cuanto al Putumayo Bajo, CORPOAMAZONIA (2014) menciona que se encuentra un gran número de humedales (Figura 11), la Cuenca hidrográfica Quebrada “La Hormiga”, asociada a la zona hidrográfica del río Putumayo, con 22.902,50 ha ubicada en los municipios de Valle del Guamuez y San Miguel, además está la presencia de una gran cantidad de pantanos, microcuencas y la presencia de la laguna La Apaya asociada al Parque Nacional Natural “La Paya” en la jurisdicción de Puerto Leguízamo. En este sentido, se podría establecer que la mayoría de los cuerpos de agua de gran importancia ecológica, presentes en el Putumayo Bajo y los ecosistemas anteriormente descritos, podrían posiblemente sumarse a los que están en riesgo frente a los efectos del cambio climático, al registrar precipitación media y baja (exceptuando los municipios de Puerto Guzmán, Valle del Guamuez y parte de San Miguel que registran precipitaciones altas) y la más altas temperaturas del departamento, generando una fuerte presión especialmente sobre los humedales, las microcuencas asociadas al PNN La Paya, especialmente la laguna la Apaya y la quebrada “La Hormiga” por su importancia ecológica, ocasionando posibles cambios en los niveles de flujo de corrientes en los cuerpos de agua y pérdida de caudal y espejos de agua en temporadas secas. Del mismo modo, con los resultados encontrados en el comportamiento de la distribución de la precipitación y temperatura, se resalta la importancia de conservar el recurso hídrico, ya que el agua para el departamento sostiene tanto los ecosistemas de agua dulce (ríos, lagos y humedales) como los ecosistemas terrestres (bosques, pastizales, etc.) que proporcionan servicios ecosistémicos importantes como el suministro de agua, la producción de alimentos, los valores culturales para el departamento y la purificación natural (UNESCO, 2020). Es de resaltar que en esta zona del departamento se encuentra la presencia de algunos humedales en los municipios de Puerto Asís y Puerto Guzmán, teniendo en cuenta que para Puerto Guzmán, por los resultados obtenidos, hay una mayor probabilidad de riesgo de inundación al registrar una de las precipitaciones más altas del departamento,

y pese que para Puerto Asís se registró una precipitación media, también podría tener probabilidades de riesgo de inundaciones, no obstante, se puede presentar efectos contrarios, como fenómenos de pérdida del espejo de agua en temporada seca, a causa de las temperaturas altas registradas en ambos municipios. También es claro saber que en estas zonas se ha identificado una variación marcada en la V1 respecto de la V2 en las variables analizadas, con tendencias de aumento, y ya que estos ecosistemas son frágiles frente a esa variación, se puede desencadenar una pérdida de conectividad importante de fauna, flora y servicios ecosistémicos.

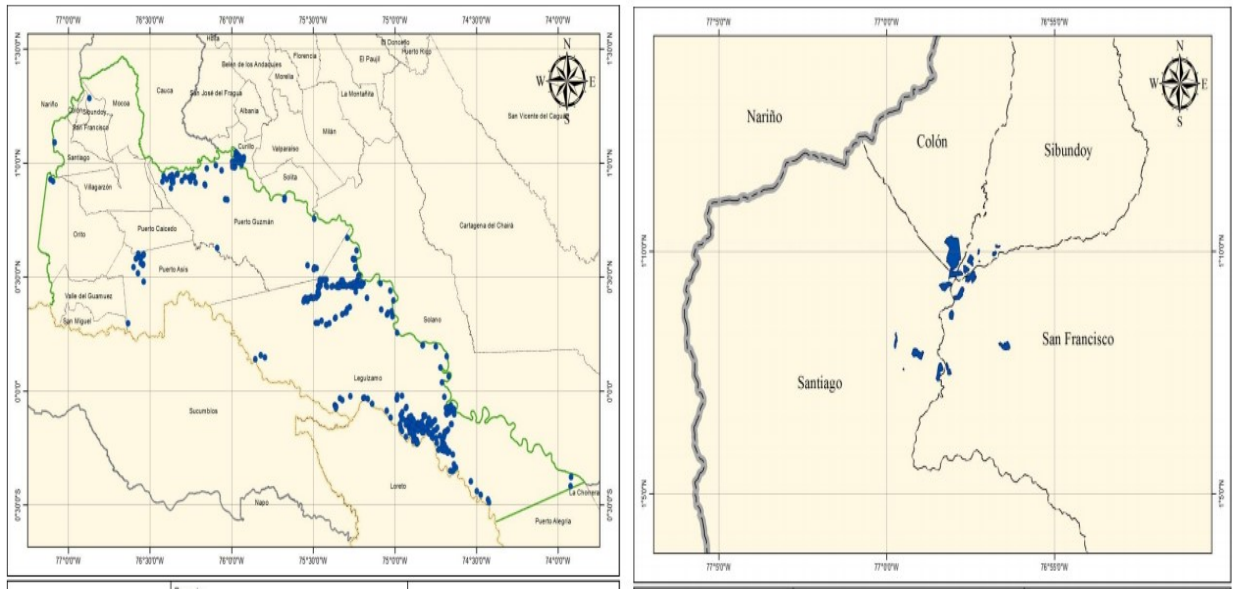


Figura 11. Izquierda: Ubicación humedales en zonas del Putumayo Alto, Medio y Bajo y Derecha: Ubicación de humedales en el Valle de Sibundoy
Fuente: CORPOAMAZONIA,2014

8.7.4. Coberturas

Respecto a este componente, en el departamento, aproximadamente el 85% del área es llanura, mientras el 15% es paisaje de montaña. Las coberturas según su condición se pueden categorizar en naturales, seminaturales y transformadas, por tanto, sin contar cuerpos de agua se tiene que:

En las áreas naturales comprendidas por bosques, herbazales, arbustales y áreas abiertas con poca vegetación, la superficie departamental fue, en 2002 de 18640,62 km², en 2007 de 17.851,56 km², en 2012 de 17.351,1 km², en 2014 de 16.757,79 km², en 2016 de 16.516,3 km² y en 2018 de 16.434,34 km². Es decir, en áreas naturales la superficie equivalía al 72,2% del departamento en 2002 y al 63,7% en 2018. Así mismo, específicamente, la cobertura más representativa de esta agrupación (y del departamento), es el bosque denso alto de tierra firme, el cual en 2002 tenía 17.108,49 km² (66,3% del departamento) y 14972,9 km² (58%) en 2018 (SINCHI, 2002-2018).

En seminaturales que comprende bosques fragmentados, vegetación secundaria y zonas quemadas, el área fue de 2300,6 km² en 2002, 2.510,82 km² en 2007, 2.612,73 km² en 2012, 3.279,02 km² en 2014, 3.419,76 km² en 2016 y 4.792,45 km² en 2018. Por ende, en áreas seminaturales, la superficie

departamental era del 8,9% en 2002 y 18,6% en 2018. En cuanto a la cobertura específica de mayor presencia es la vegetación secundaria o en transición con 1849,18 km² (7,2%) en 2002 y 3.927,64 km² (15,2%) (SINCHI, 2002-2018).

Finalmente, en transformadas, comprendida por territorios artificializados, cultivos y pastizales, la superficie fue de 4129,7 km² en 2002, 5.017,2 km² en 2007, 5.406,04 km² en 2012, 5.332,45 km² en 2014, 5.453,5 km² en 2016, y 4.161,74 km² en 2018. En porcentaje representó 16% tanto en 2002 y 2018. La cobertura más grande de estas son los pastos limpios, con 1989,46 (7,7%) en 2002 y 1765,94 (6,8%) en 2018 (SINCHI, 2002-2018).

8.7.5. Ecosistemas y biodiversidad

En el departamento se encuentra uno de los ecosistemas de humedal altoandino más importante del suroccidente colombiano, que hace parte de una región prioritaria para la conservación del Piedemonte Amazónico, con un área total de 238,7 hectáreas en el Valle de Sibundoy. Así mismo, se encuentra un área total de 32.343 ha de páramos distribuidos entre los municipios de Mocoa, Sibundoy, Colón, Orito, San Francisco, Santiago y Villagarzón. A su vez, el PNN La Paya localizado en Puerto Leguizamó, tiene un área aproximada de 422.000 ha, siendo su nombre tomado de uno de sus lugares más representativos: la Laguna La Apaya o La Paya, que es un humedal de 3.000 ha de extensión (CORPOAMAZONIA, 2014; Ramírez y Castellanos, 2007). En este orden de ideas y con base en los resultados de la distribución de precipitación y temperatura, se puede partir del hecho que con un comportamiento de baja precipitación y temperatura en el Putumayo Alto, los ecosistemas páramo y el complejo de humedales del Valle de Sibundoy, posiblemente están teniendo una fuerte presión al ser ecosistemas frágiles por la variación del clima, sin embargo como se menciona anteriormente para este último, la presión es más fuerte debido a que por un lado, las actividades antrópicas están ejerciendo una presión tan alta, llegando a transformar parte de este ecosistema y su suelo para uso de actividades ganaderas ya que en el Valle de Sibundoy, con el 12.5% del área ganadera, abastece el 76,5 % de la demanda de leche y derivados lácteos del Putumayo y por otro lado, con una baja precipitación se puede ver afectado la capacidad que tiene el complejo de humedales de recuperar y continuar con sus comportamientos ecosistémicos y biológicos (Mora y Andrade, 2019; Ramírez et al, 2007). De igual manera los humedales presentes en las zona del Putumayo Medio no están teniendo un impacto tan significativo debido a que al registrar las precipitaciones más altas del departamento al igual que la temperatura durante la V1 y V2, no es tan marcada la variación por lo que no son tan susceptibles a estos cambios para seguir con su funcionamiento, pero, es de vital importancia monitorear, ya que el mismo comportamiento está en aumento y en algunos años puede generar un desbalance ecosistémico por fenómenos extremos de lluvia acompañado de inundaciones. Para el Putumayo Bajo, al tener un comportamiento de las más altas temperaturas del departamento y con una precipitación media, puede generar un desequilibrio en sus dinámicas y servicios ecosistémicas ocasionado un mayor riesgo de generación de incendios producto de este comportamiento, poniendo en peligro especialmente los ecosistemas y humedal presente en el Parque Nacional Natural La Paya, lugar que por sus características ecosistémicas es de cuidado y preservación.

Igualmente, este departamento al tener presencia de ecosistemas de gran importancia ecológica alberga una gran variedad de biodiversidad, además tiene una zona de conectividad entre los Andes y la Amazonia, en esta medida, se registran 750 especies de aves, un santuario de flora plantas medicinales Orito ingi-ande con un área aproximada de 10.204 hectáreas localizadas en su totalidad en la jurisdicción territorial de Orito, un Jardín Botánico de Plantas Medicinales en Mocoa, en el piedemonte existen 5

especies sombrilla como lo son el Tinamú Negro (*Tinamus osgodi*), Cedro rosado (*cedrela odorata*), Tigrillo (*Loepardus tigrinus*), Pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) y Churuco (*Lago Thrix lagotrica*), 154 especies de mariposas y 32 más endémicas de Putumayo (ANDI, 2019; Mora et al, 2019; CORPOAMAZONIA, 2014). Así mismo, en el PNN La Paya, se registran más de 291 especies de aves, 58 de mamíferos, 17 de reptiles, 84 de peces y 9 de anfibios (Ramírez et al, 2007). Igualmente, de forma general, según el último reporte de biodiversidad del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2020), Putumayo tiene 7.149 especies registradas en el SiB Colombia, que es un sistema de información sobre biodiversidad respaldados por el SINA, posicionando al departamento como el tercero con más especies registradas en la región Amazónica.

En este sentido, la biodiversidad presente en zonas del Putumayo Alto es susceptible a los efectos del cambio climático producto de las variaciones tan marcadas en algunas zonas y de las temperaturas y precipitaciones bajas, igualmente, para la zona del Putumayo Bajo al registrar las temperaturas más altas y precipitaciones medias, pueden generar el aumento de riesgos asociados a la pérdida de biodiversidad presente en los ecosistemas y en zonas de mayor importancia ecológica como el PNN La Paya. De igual forma, para el Putumayo Medio, puede generar una posible presión sobre la biodiversidad ya que se evidencia un aumento de temperatura en algunas zonas, sin embargo, por el comportamiento anteriormente descrito, puede haber una variación en sus comportamientos relacionado con la pérdida de sus ecosistemas y corredores biológicos de algunas especies en la zona del piedemonte (zona de conectividad entre la amazonia y zona de los andes) ya que esta última registra la variación más alta y significativa del departamento generando una mayor susceptibilidad frente a las dinámicas ecosistémicas y de la biodiversidad presentes.

8.8. Sugerencias de estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático

Se realizó un análisis de las diferentes estrategias de adaptación al cambio climático, planteadas en el documento del *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC*, y con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se sugiere que la estrategia de adaptación que se debe implementar en el departamento del Putumayo sea “*Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE)*”, ya que esta permite integrar el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, lo que resulta costo efectivo, generando beneficios sociales, económicos, culturales y contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM, Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres, 2016; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018;2017). De igual forma, la AbE es un medio de adaptación accesible no solamente para las poblaciones rurales de bajos ingresos, sino que también trae beneficios colaterales sobre los grandes sectores productivos y municipios, aprovechando los conocimientos tradicionales de las comunidades locales, las cuales tienen un rol importante en este departamento para la conservación de los recursos naturales, siendo a su vez, uno de los grupos vulnerables frente a los efectos que está ocasionando el cambio climático.

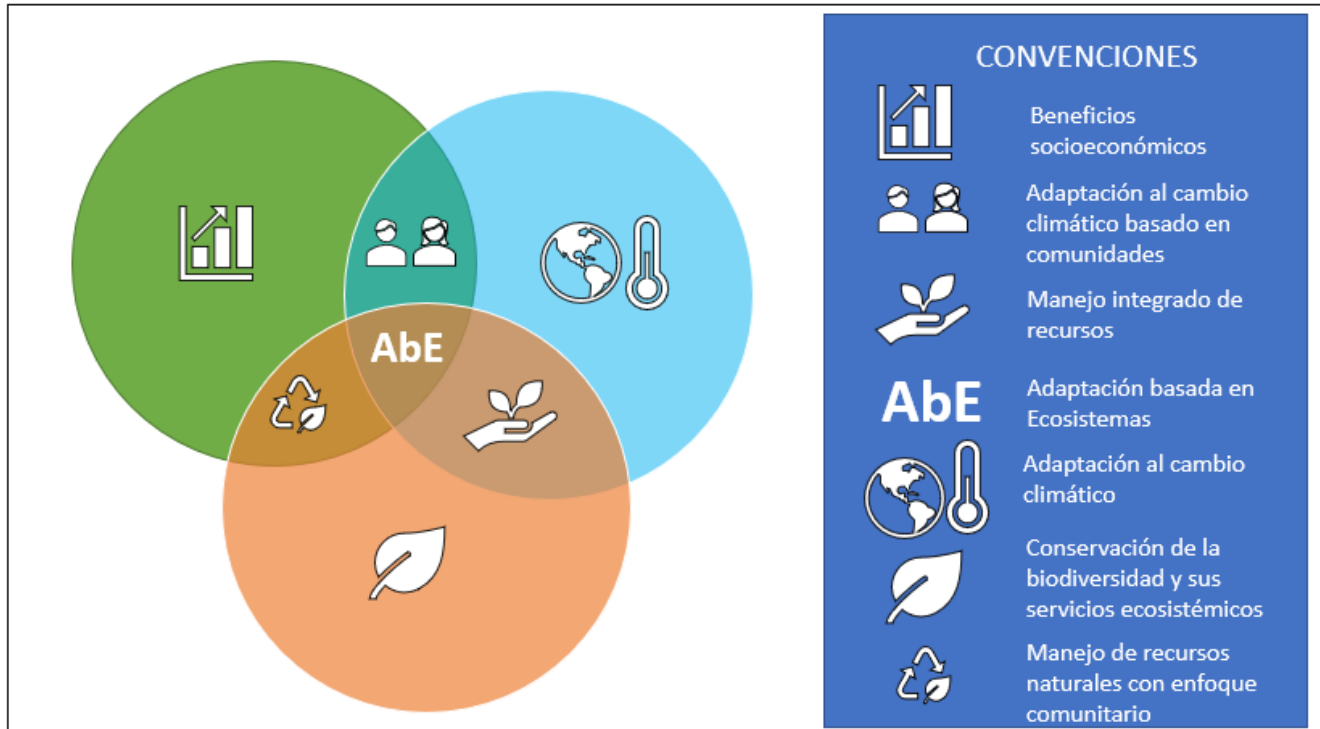


Figura 12. Diagrama de Adaptación Basada en Ecosistemas AbE.

Fuente: Autores (2020). Adaptación propia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-AbE-Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia.

En la figura 12, se observa la integralidad que ofrece esta estrategia basada en ecosistemas, ya que, al tener varios beneficios, se genera un amplio conocimiento para poder aumentar la capacidad de adaptación y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, la biodiversidad y las personas. Además, el departamento al ser parte uno de los que conforman la región amazónica, tiene lugares estratégicos para combatir el cambio climático tanto a nivel departamental, nacional y mundial, ya que posee ecosistemas como el bosque andino (piedemonte amazónico) y los complejos de humedales que sirven de sumideros de carbono; entre otros también de importancia ecológica están los páramos, ríos y parques nacionales naturales (CORPOAMAZONIA, 2014).

8.8.1. Estrategias de adaptación

A partir de las estrategias de adaptación al cambio climático planteadas en los documentos del *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC*, *AbE-Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia* y en la *TCNCC*, se realiza una articulación y adaptación para generar las siguientes estrategias en el departamento, tal como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. *Estrategias de adaptación al cambio climático en el departamento de Putumayo.*

Estrategias (TCNCC)		AbE	Acciones	Indicadores	Beneficios
1A	Fortalecimiento de la gestión del conocimiento climático y sobre sus impactos potenciales	Fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (REDD+)	Registrar y monitorear la forma en que se utiliza el suelo en el departamento para desarrollar datos que muestre los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las eliminaciones de estos gases relacionados con bosques.	Contenido de Carbono en bosque (Mg/km)	Aumento de los servicios ecosistémicos y biodiversidad del departamento
		Caracterización ambiental y cultural para el desarrollo de los sistemas de conocimiento tradicional asociados a los usos de la biodiversidad asociados al cambio climático.	Fortalecer las políticas y procesos encaminados a la protección de las comunidades indígenas, biodiversidad y servicios ecosistémicos en el departamento de Putumayo	Porcentaje de políticas y estrategias cumplidas (%).	Aumento de la capacidad de respuesta de las comunidades asociadas al cambio climático.
				Porcentaje de ecosistemas protegidos (%)	
	Fomentar estudios científicos a escalas municipales para determinar el comportamiento retrospectivo y prospectivo de los efectos del cambio climático en la salud, biodiversidad y ecosistemas del departamento.	Fortalecer la implementación de estaciones meteorológicas en el departamento que contribuyan a un aumento de la información de parámetros meteorológicos.	Porcentaje de estaciones activas (%).	Aumento de información sobre el comportamiento o de la distribución espacio temporal del cambio climático.	

2A	Incorporación del cambio climático en los instrumentos de planificación del departamento	Desarrollar el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales con enfoque comunitario.	Establecer acuerdos intermunicipales para el aprovechamiento de los recursos naturales del departamento	Porcentaje de aprovechamiento de los recursos naturales renovables (%)	Disminución de la vulnerabilidad y riesgo asociado al cambio climático
		Manejo integrado del recurso hídrico	Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua	Porcentaje de aprovechamiento del recurso hídrico	Aumento de la disponibilidad hídrica.
		Gestión integral del riesgo y desastres	Fortalecer los puntos de monitoreo más susceptibles a desastres por inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos, incendios forestales, en el departamento de Putumayo	Porcentaje de reducción de riesgos y desastres en el departamento (%)	Reducción de riesgo por medio de la restauración y conservación de ecosistemas y sus servicios de regulación
		Fortalecimiento del manejo forestal del departamento del Putumayo.	Generar acciones de protección y regulación de los servicios ecosistémicos de los bosques del departamento para reducir el riesgo de los impactos del cambio climático	Porcentaje de bosques protegidos (%).	Recuperación de la biodiversidad, incluyendo funcionalidad ecosistémica.
3A	Gestión de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos.	Programas de reforestación con especies endémicas y de soporte al cambio climático	Integrar acciones de reforestación en zonas con un alto impacto articulado con acciones de la comunidad y acuerdos intermunicipales	Porcentaje de especies reforestadas (%)	Protección y recuperación de la biodiversidad
		Instrumentos de pago por servicios ecosistémicos prestados.	Incentivar el pago de servicios ecosistémicos especialmente en ecosistemas con una gran importancia ecológica por sus servicios a la adaptación de los efectos de cambio climático	Hectárea por servicios ecosistémico ofrecido (ha/Servicio ecosistémico)	Conservación de ecosistemas en el departamento.
		Conservación y restauración de ecosistemas estratégicos.	Planificar acciones comunitarias para la conservación y restauración de zonas afectadas en ecosistemas estratégicos frente al cambio climático	Porcentaje de aumento de conservación y restauración de ecosistemas estratégicos (%)	Aumento de los servicios ecosistémicos ofrecidos por bosques y

					ecosistemas estratégicos
3B	Producción agropecuaria y seguridad alimentaria adaptadas al cambio climático.	Implementar sistemas agrosilvopastoriles con especies endémicas alineados con el aprovechamiento adecuado de la biodiversidad y cuidado de los servicios ecosistémicos en zonas que estén altamente intervenidas por actividades de categoría ganadera	Realizar estudios del estado y uso actual de los suelos del departamento de Putumayo	Porcentaje de sistemas silvopastoriles implementados (%).	Conservación de los servicios ecosistémicos, suelos y aumento en la capacidad de adaptación de los efectos del cambio climático.
			Generar una articulación entre las autoridades ambientales y las alcaldías para generar proyectos encaminados a la conservación del suelo a través de sistemas agrosilvopastoriles con especies endémicas tanto para las zonas rurales como urbanas		
3D	Crecimiento verde de hábitats humanos.	Reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores.	Implementar acciones de conservación de ecosistemas y biodiversidad estratégica para la disminución de enfermedades asociadas a vectores	Porcentaje de disminución de enfermedades asociadas a vectores (%)	Disminución de enfermedad asociadas a vectores
		Generar acciones de sistemas de municipios resilientes a través de la conservación de los ecosistemas y biodiversidad endémica del departamento.	Fortalecer la planificación ambiental desde una perspectiva departamental y municipal a través de estudios relacionados a la gestión del riesgo y de desastres	Porcentaje de disminución de efectos al cambio climático en municipios (%).	Aumento de la biodiversidad en el departamento
			Proyectos enfocados a la siembra de especies endémicas en los municipios del departamento y a los rededores		
			Fortalecimiento en las dinámicas sociales y acciones colectivas en los municipios con el propósito de la conservación de los ecosistemas y biodiversidad del departamento		

Fuente: Autores (2020)

8.8.2. Estrategias de mitigación

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020), menciona que mitigar es un conjunto de estrategias, acciones y políticas orientadas a reducir o limitar las emisiones de GEI y mejorar los sumideros de carbono. Así mismo, el IPCC hace referencia a que la mitigación es la intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013b). En este sentido, se proponen las siguientes estrategias que están encaminadas con la AbE, tal como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Estrategias de mitigación al cambio climático para el departamento de Putumayo.

Estrategia de Mitigación	Acciones	Indicadores	Unidades	Beneficios
Fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (REDD+)	Controlar y vigilar las actividades antrópicas dentro de los bosques para evitar la deforestación y pérdida de cobertura vegetal.	Porcentaje de bosques con presencia de deforestación en el departamento	%	Aumento de los servicios ecosistémicos y biodiversidad del departamento
	Monitorear y registrar datos que muestre los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las eliminaciones de estos gases relacionados con bosques.	Toneladas de CO2 equivalentes por año	TonCO2equivalentes/año	Disminución de gases de efecto invernadero en el municipio y aumento de la capacidad de resiliencia de los bosques.
	Conservar y proteger los bosques del departamento que sirven como sumideros de carbono para mitigar los efectos del cambio climático	Porcentaje de bosques totales protegidos en el departamento	%	Aumento de los servicios ecosistémicos ofrecidos por bosques
Gestión integral para la conservación, preservación, uso y manejo del recurso hídrico en el departamento de Putumayo.	Monitorear los niveles en cuerpos de aguas en el departamento para evitar posibles fenómenos de inundaciones o sequías	Porcentaje de cobertura de monitoreo de cuerpos de agua en el departamento	%	Garantizar la disponibilidad del recurso hídrico para las poblaciones
	Mejorar la planificación de las cuencas hidrográficas para buscar un balance entre el aprovechamiento y la protección para beneficio tanto de los habitantes como de la biodiversidad asociada a esta	Porcentaje de aprovechamiento sostenible de las cuencas hidrográficas del departamento	%	Conservación de las cuencas hidrográficas y la biodiversidad del departamento
Control y restauración de zonas con alta importancia ecológica	Proteger y conservar los complejos de Humedales y sus suelos por su alta importancia ecológica y función de	Porcentaje de humedales protegidos	%	Mitigar los efectos del cambio climático y cuidado sostenible tanto de los

para mitigar los efectos del cambio climático	sumidero de carbono.			servicios ecosistémicos ofrecidos por los humedales como de la biodiversidad
	Protección del piedemonte amazónico y los ecosistemas y biodiversidad asociado a este	Ha de bosques protegidos en el piedemonte	ha	Conservación de los servicios ecosistémicos y corredores biológicos entre la zona andino-amazónica
		Porcentaje de biodiversidad protegida en el piedemonte	%	
	Conservación de la unidad de páramos y ecosistemas del piedemonte amazónica como zonas estratégicas de mitigación al cambio climático	Porcentaje de páramos protegidos	%	Disponibilidad de agua potable para los habitantes y conservación de los flujos ecológicos en el piedemonte amazónico
		Porcentaje de ecosistemas protegidos en el piedemonte amazónico	%	
Instrumentos de pago por servicios ecosistémicos prestados en zonas de gran importancia ecológica	Hectárea por servicios ecosistémico ofrecido	Ha/Servicio ecosistémico	Aumento en los servicios ecosistémicos ofrecidos por ecosistemas de gran importancia ecológica	
Reforestación y recuperación de los suelos producto de actividades antrópicas	Promover la reforestación en zonas altamente intervenidas con especies endémicas y especies que ayuden como sumideros de carbono	Porcentaje de reforestación alcanzado en el departamento	%	Aumento de la cobertura vegetal endémica y de la biodiversidad
	Generar programas intermunicipales para la protección y restauración de suelos altamente afectados por actividades antrópicas	Porcentaje de suelos restaurados	%	Mejorar la calidad de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y fortalecimiento de acciones intermunicipales
	Pago de incentivos económicos para frenar la deforestación en el departamento de Putumayo.	Porcentaje de área protegida	%	Aumento de los servicios ecosistémicos y la capacidad de mitigar los efectos del cambio climático
Fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres y cambio climático en el departamento	Promover más investigaciones científicas asociadas al comportamiento del cambio climático a escalas específicas para la generación de información	Porcentaje de aumento de investigaciones científicas asociadas al cambio climático en el departamento	%	Aumento en la producción científica y un mejor análisis en la toma de decisiones

	Fortalecimiento de los instrumentos de planificación asociados a los efectos del cambio climático para la toma de decisiones	Porcentaje de aumento en los instrumentos de planificación asociados a los efectos del cambio climático	%	Mejoramiento en la planificación ambiental del departamento asociado al cambio climático
	Fortalecimiento y aumento de alertas tempranas de fenómenos extremos asociados a los efectos del cambio climático en el departamento	Porcentaje de reducción del riesgo frente a las amenazas del cambio climático	%	Disminución del riesgo asociado a fenómenos extremos asociados a los efectos del cambio climático

Fuente: Autores (2020)

9. Análisis de resultados y discusión

9.1. Distribución espaciotemporal del cambio climático

Los resultados de la presente investigación evidencian especialmente un comportamiento del cambio climático en aumento para las variables de precipitación y temperatura en gran parte del departamento, con los mayores incrementos en el piedemonte. Lo anterior, también se evidencia en la publicación *Variabilidad Climática y el Cambio Climático en Colombia* (IDEAM, UNAL, 2018) y en *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística* (Mayorga et al, 2011). El primero, calculando las tendencias en la precipitación anual para el período 1980-2011 y el segundo con base al período 1971-2010, en ambos, se describen por medio de mapas y estadística las tendencias -que son de aumento- en el departamento de forma general, y con valores altos en especial en la zona anteriormente descrita. Asimismo, el trabajo de Mayorga et al (2011), evidencia incremento en la temperatura máxima a lo largo del piedemonte amazónico tal como se observa en los resultados del presente trabajo de investigación; por otro lado, es interesante resaltar que Puerto Umbría, en nuestro trabajo obtuvo una leve disminución, resultado que también fue encontrado por dichos autores, siendo esta una de las estaciones que ellos analizaron.

Así mismo, el IDEAM a través del documento *Los Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100* (IDEAM et al, 2015b) evidencia resultados similares a los planteados en esta investigación para las variables de precipitación y temperatura. En este sentido, la precipitación para la zona más baja del Putumayo Medio registra un resultado más alto en este trabajo, a comparación del documento del IDEAM, posiblemente porque en el presente se tiene una mayor cobertura de estaciones en la zona del Putumayo Medio y Bajo, por lo que hay resultados más precisos en cuanto a la distribución de la variable, mientras que en el documento anteriormente mencionado, hay zonas que no evidencian la existencia de estaciones, por lo que a comparación, el resultado tanto estadístico como gráfico, es menos detallado generando esa diferencia en los mismos. Sin embargo, para Putumayo Alto y el piedemonte amazónico los resultados en ambos trabajos presentan rangos similares de precipitación (mm) y temperatura (°C), además, tanto en dicho documento como en el presente proyecto, se evidencian que las zonas del Putumayo Bajo y Medio, registran las temperaturas más altas, con similitudes en los rangos de las zonas altas y el piedemonte amazónico, no obstante, los rangos registrados en esta investigación varían un poco más en aumento frente al presentado por el IDEAM. De igual forma, a través de los mapas

del Atlas Climatológico de Colombia (1981-2010) del IDEAM, se evidencia nuevamente una similitud con los resultados obtenidos, ya que la precipitación media total anual de este atlas, registra en la mayor parte del Putumayo Alto y Medio cifras de precipitación media y altas acorde a los rangos hallados en nuestros resultados, donde nuevamente en el Putumayo Alto se evidencia las lluvias más bajas; mientras para la temperatura máxima media anual, en el Putumayo Bajo, Medio y en la zona del Piedemonte Amazónico, se registran las temperaturas más altas del departamento; sin embargo, como la escala espacial del Atlas climatológico es nacional y la temporal es diferente, se pueden presentar variaciones en los resultados (IDEAM, 2014b; IDEAM, 2014c). Adicionalmente, a parte de todos los referentes mencionados anteriormente, Hurtado M. (2009), Arango et al (2012) y Alarcón H. (2017) también obtienen resultados en donde el piedemonte presenta los mayores rangos de precipitación, mientras que en la zona alta están los mínimos y en la llanura el intermedio entre estos.

Dichas diferencias tan marcadas en las tres subregiones del departamento respecto al comportamiento de la precipitación, se deben principalmente a la topografía, así, la altitud puede incidir en que haya variaciones sensibles entre regiones aunque sean aledañas, por ejemplo, entre 500 y 1.000 metros (zona de piedemonte) está ubicada la franja de lluvias máximas debido al aire muy húmedo, caliente e inestable -propio de las fuentes de humedad de la cuenca amazónica- que recibe la ladera de las montañas de los Andes, estas condiciones provocan un pequeño enfriamiento de orden geográfico que causa las abundantes precipitaciones; mientras a tan solo unos pocos kilómetros en las zonas altas de la cordillera, la precipitación decrece lo cual se podría explicar por el bloqueo de las masas de aire contra la montaña o porque estas han perdido buena parte de su humedad; finalmente en la zona llana existe un nivel base de lluvias bajo acompañado de altas temperaturas y humedad absoluta (Hurtado M, 2009), es decir, la distribución espacial de lluvias está marcada por las fuentes de humedad de la Amazonia, por la topografía y por vientos predominantes (Hurtado y Mesa, 2015). Igualmente, Hurtado y Mesa (2014) establecen que la gran variabilidad de la precipitación en pequeñas distancias, es determinada por fuertes gradientes inducidos por la topografía, resaltando en su trabajo la fisiografía de transición entre montaña y llanura, ellos sintetizando lo anterior en resultados concretos, realizaron un análisis del periodo 1975-2006 a nivel nacional, en el que determinaron que después de la zona de la Guajira, las lluvias más bajas se dan en las zonas más elevadas de la cordillera de los Andes, mientras que valores elevados se dan en los piedemontes, es decir, la misma dinámica que se da en el departamento según los resultados obtenidos en esta investigación, donde la zona alta presenta los valores mínimos, mientras que la zona de transición hacia la llanura (piedemonte) registró las mayores cantidades de precipitación, esto último es explicado concretamente en la publicación del IDEAM y la UNAL (2018)

En la Amazonia colombiana, las masas de aire húmedo en su desplazamiento hacia el Oeste encuentran la cordillera de los Andes. Al tener un ascenso forzado por la orografía, la humedad se condensa, genera nubosidad de desarrollo vertical y abundante precipitación. Esto hace que el nor-occidente de la Amazonía (es decir, el territorio amazónico colombiano) sea uno de los sectores más lluviosos de toda esa región (p.21).

Concretamente hablando de las subregiones y sus municipios, en Putumayo Alto, el municipio de Colón con una sola estación meteorológica, tiene la mínima precipitación del departamento durante los dos periodos analizados, con un rango en su mayoría rondando entre 1.700 y 2.300 mm, a su vez presenta una reducción del 8%; en temperatura si bien el cambio fue de 3%, los rangos quedaron entre 16,1 y 22 °C en ambos periodos. Santiago con dos estaciones, tiene lluvias alrededor de los 2.300 mm para ambas ventanas, también tiene tendencia a la disminución esta vez del 9%; por otro lado, ostenta alrededor de 15 °C en la primer ventana, incrementándose a un valor mayor de 16 °C en la segunda, teniendo el mayor

incremento (7%) entre municipios. Sibundoy no registra estaciones activas, por lo que su resultado es gracias a la interpolación; los valores son similares a los anteriores municipios, no obstante, la diferencia es que este presenta un leve aumento entre las dos ventanas; mientras que para la temperatura se mantiene en gran parte estable con un rango entre 16,1 y 19 °C en casi todo el territorio. Dichos municipios tienen la mayor altura del Putumayo, con un rango altitudinal entre los 1.300 y 3.700 m.s.n.m con la mayor parte ubicada alrededor de los 2.000 o más m.s.n.m, resultando evidente que tengan las temperaturas más bajas de Putumayo debido a su altura y también, acorde a lo planteado anteriormente, que esta elevación incida en el régimen de lluvias. Adicionalmente, la tendencia de disminución de precipitación hallada en esta zona montañosa del departamento, es referenciada por varios autores -tanto tendencia histórica y en escenarios futuros- como Mayorga et al. (2011), Arango et al (2012), Pabón (2012), Hurtado et al. (2014; 2015), situación que debe ser estudiada ya que además de tener las lluvias más bajas estas disminuirán.

No obstante, hay que tener en cuenta que la región Andina y su cordillera, presentan bastante diversidad de resultados, por ejemplo, en su análisis Hurtado et al. (2015), acotan que a lo largo de dicha región “no es fácil generalizar si se trata de un aumento o disminución de la precipitación en el periodo analizado”, además hay otras referencias que indican también la ausencia de variación o incluso incremento de las lluvias, como Ruíz y Martínez (2007), IDEAM et al (2015b), Alarcón (2017) e IDEAM y UNAL (2018), esta última recopila varios estudios previos del tema en Colombia (algunos acá referenciados) en donde se evidencia los distintos resultados que se pueden llegar a tener en la cordillera Andina, por tanto, la cuestión no es ajena en el departamento, ya que, adicional a los tres municipios ya nombrados, hay otro que también hace parte de la cadena montañosa pero presenta resultados muy diferentes, aquel se trata del municipio de San Francisco, el cual tiene cuatro estaciones, y aunque tres de ellas registraron valores similares a los otros tres municipios perteneciente al Putumayo Alto (es decir rangos que van desde los 1.700 hasta los 3.500 mm) la otra estación, Torre TV San Francisco, presentó datos bastantes particulares, con registros superiores a los 4.500 mm de precipitación, situación, que en conjunto a la interpolación, resultan ubicando buena parte del municipio con distribución espacial en rangos obtenidos en zonas más bajas del departamento, y no similar a los demás municipios de la parte alta, por ende, este resulta ser el más lluvioso de la zona, además de tener una tendencia de incremento contrario a los demás. Cabe resaltar que también fue el único municipio con tendencia de aumento significativa en esta zona alta. En cuanto a la temperatura, con 14 °C y 15 °C en promedio para la V1 y V2 respectivamente, tiene los registros más bajos tanto de esta zona del Putumayo como del departamento, así como el mayor incremento -junto a Santiago-, del orden de 7%. Aquellos valores se deben a que se encuentran las estaciones analizadas con mayor altitud, como Torre Tv aproximadamente a 3.000 m.s.n.m.

En Putumayo Medio, Mocoa es el municipio con más estaciones analizadas (cinco), las cuales tienen resultados distintos entre sí, causando un rango amplio alrededor de los 3.300 mm y 5.500 mm, con tendencias de incremento del 6% o de disminución del orden del 19%, esto puede explicarse porque las estaciones se encuentran alejadas y a distintas alturas entre sí, 430 y 1.400 m.s.n.m la más baja y alta respectivamente, no obstante, a pesar de dichas diferencias, el cambio evidenciado entre los mapas es mínimo (Figuras 7 y 8), notándose solamente un leve cambio de incremento en la parte del piedemonte. Orito, con dos estaciones, presenta un resultado similar al de Mocoa, donde hay distintos rangos dentro del mismo municipio, sin embargo, se diferencia porque el aumento es notorio y significativo (15%) a lo largo de este, explicado porque la mayoría del territorio se encuentra en el piedemonte. Villagarzón, con dos estaciones, es de los municipios con menor variación (1%), eso sí, debido a la distribución espacial realizada, presenta rangos entre 2.901 y 6.200 mm. Estos tres municipios mencionados, tienen la particularidad que la distribución espacial presenta un amplio rango de precipitación en cada uno, lo cual se debe al variado relieve con el que cuentan, con una porción de zona montañosa además de las partes

bajas, siendo su rango altitudinal entre 300 y 3.900 m.s.n.m. Es importante mencionar que en Mocoa y Orito se encuentran las estaciones con los registros más altos de precipitación (alrededor de 6.000 mm) de todo Putumayo. Respecto a lo mencionado de las altas cantidades de precipitación y su notable incremento en la zona de Piedemonte, se han encontrado varios resultados que corroboran lo dicho, como la publicación del IDEAM, UNAL en 2018 (los cuales también referencian otros resultados previos), el estudio de Mayorga et al (2011), el análisis de Pabón (2012), la TCNCC del IDEAM (2015c), y los resultados de Alarcón en 2017 donde el incremento tan significativo es de inclusive hasta el 50% en el presente siglo, siendo de los aumentos más marcados del país. Lo anterior es acorde a Hurtado et al. (2015) quienes dicen que se puede presentar la situación en que las regiones más lluviosas sean aún más lluviosas a futuro, si los vientos cambian poco respecto a la humedad que transportan, hecho que se puede estar dando, teniendo en cuenta las tendencias obtenidas y referenciadas. Los resultados de los distintos estudios son más consistentes que lo exhibido en la parte alta, es claro que de continuar la dinámica del cambio climático, la zona podrá presentar fenómenos extremos de lluvia, lo que podría generar una enorme vulnerabilidad en los municipios que la conforman.

Mientras, Puerto Caicedo, con su única estación de valores entre 3.800 y 4.000 mm entre ambas ventanas, es un municipio con una distribución espacial y temporal de lluvias bastante pareja, se resalta únicamente el incremento leve de precipitación que tiene, que en el segundo período cubre mayor superficie municipal. Lo anterior -y la diferencia con los demás municipios del Putumayo Medio- se debe a que su relieve es bastante uniforme, siendo la altitud aproximadamente 300 m.s.n.m.

En cuanto a temperatura, debido a lo ya mencionado de la topografía, sucede la misma situación que con la precipitación, mientras en Mocoa, Orito y Villagarzón se exhiben hasta cuatro o cinco rangos distintos, Puerto Caicedo, evidencia prácticamente la misma temperatura para todo el territorio (Figuras 9 y 10); se resalta que aunque la tendencia de incremento ocurrió en todos, Orito y Puerto Caicedo denotan los mayores cambios espaciales en el segundo período, acorde a lo ya mencionado de Mayorga et al. (2011) de un “calentamiento bien definido” en el Piedemonte Amazónico respecto a temperaturas máximas, destacado igualmente por Ruíz et al. (2007) acerca de los importantes incrementos en este sector del país.

Finalmente, en Putumayo Bajo, Puerto Asís, con dos estaciones que tienen valores similares entre sí (alrededor de 3.800 mm en V1 y 3.600 mm en V2), ostenta uniformidad espacial de esta variable (Figura 7 y 8) evidenciando incremento en la zona Sureste y en las franjas límites Norte y Oeste del municipio, no obstante, ocurrió una reducción promedio de 4% en la zona central evidenciado estadísticamente en la tabla 11. Puerto Guzmán, con una única estación, registra uno de los mínimos cambios del departamento (4.850 a 4.800 mm), no obstante, el resultado de la distribución realizada, evidencia aumento hacia el Sureste del municipio. Puerto Leguízamo, con tres estaciones, a pesar de tener relieve uniforme (alrededor de 200 m.s.n.m), manifiesta rangos desde los 2.301 mm hasta los 4.700 mm en distintas zonas del mismo para el primer período, mientras para la V2 ocurrió disminución e incremento en dos estaciones, pero ausencia de variación en la mayor parte del municipio, resultando el rango entre 2.901 mm y 4.100 mm, siendo claramente la zona Oeste (donde se encuentra gran parte del Parque Nacional Natural la Paya) de mayor precipitación comparado con la zona naranja, donde se encuentra ubicado la cabecera municipal (Figura 8). Finalmente, San Miguel y Valle del Guamuez muestran la tendencia de incremento más alta del Putumayo, lo cual se explica porque en casi su totalidad hacen parte del piedemonte.

En cuanto a temperatura, para los cinco municipios, al estar en la zona más baja (alturas inferiores a 300 m.s.n.m en la mayor parte), es claro que presentan los valores más altos. Temporalmente, en la ventana

1, Puerto Asís, Puerto Guzmán y Valle del Guamuez tienen temperaturas que oscilan entre 25,1 y 28 °C para la mayor parte de sus territorios, mientras que en la mayoría de San Miguel y la totalidad de Puerto Leguízamo se registran valores superiores a los 28°C, mientras para la ventana 2, el incremento es notable cubriendo casi toda la extensión del Putumayo Bajo con los máximos valores (28 a 30 °C).

En cuanto a tendencias de ambas variables, para temperatura, el aumento es aproximadamente de 1 °C, mientras para precipitación, si bien estadísticamente hay variaciones altas como en Puerto Leguízamo (13%) y San Miguel (21%), es en este último, Valle del Guamuez y Puerto Guzmán donde se evidencian cambios notables (Figura 8), ya que para los demás, los cambios son pocos, manteniendo en su mayoría los mismos rangos entre ventanas. Respecto a esto, al revisar las tendencias y escenarios de otras referencias, si bien se evidencia incrementos de lluvias en la zona (Mayorga et al, 2011; IDEAM, 2015b; Hurtado et al., 2015) dichos van en relación por un aumento generalizado en el departamento y no por una mención como tal del sector, únicamente Arango et al (2012), destacan disminución departamental excepto en la zona baja. Cabe resaltar que esta subregión a comparación de las anteriores, destaca por su extensión y su carencia en relación a la densidad de estaciones, lo que dificulta la precisión de resultados en la zona, y por tanto los resultados de otros autores, no son concluyentes o varían entre sí.

Es clave resaltar que no se hizo énfasis en comparar los resultados de temperatura con otros autores de manera específica, cómo se hizo con la precipitación, porque a diferencia de esta, la temperatura no presenta diferencias marcadas ni espacial ni temporalmente, ya que el aumento es de manera sostenida a lo largo del Putumayo, situación que se da en todas las referencias. También, es importante la mención que puede ser complejo contrastar la información de mejor manera, porque a pesar de que los documentos anteriormente analizados, tengan similitudes en las distribuciones espaciales y las tendencias observadas respecto a esta investigación, en tales documentos las escalas utilizadas generalmente son nacionales, por ende, se carece de una descripción detallada departamentalmente y obviamente por municipio. Así mismo, aunque algunos períodos de comparación son similares en la medida en que las investigaciones incluyen 30 años o más de información, temporalmente se dificulta la comparación debido a que los períodos analizados en cada documento difieren respecto a los de este trabajo, no obstante, las tendencias dan cuenta de la similitud del comportamiento para ambas variables.

La escala es un factor determinante para la ejecución de este tipo de investigaciones, ya que como se mencionó, la mayoría de documentos que dan cuenta del comportamiento de la distribución del cambio climático, usan escalas nacionales o globales, por lo que se presentan discrepancias en los resultados al revisar zonas locales, lo que dificulta establecer el comportamiento a un nivel de detalle. Adicionalmente, las tendencias a futuro pueden variar bastante según el nivel de especificidad espacial, incluso los modelos del IPCC pueden denotar diferencias significativas cuando los estudios se realizan localmente, también esto puede ser la explicación de las discrepancias entre las referencias analizadas y también con las tendencias obtenidas en el presente trabajo, especialmente en la zona Andina del departamento. Hurtado y Mesa (2015), usaron una herramienta disponible en internet que permite visualizar los resultados de los modelos usados por el IPCC en sus estudios, con la que obtuvieron un mapa que promedia los distintos modelos en cuanto a escenario a futuro de la precipitación en el país. El resultado (Figura 13) evidencia que, si bien, es acorde a muchos estudios realizados en donde el aumento es generalizado en el país, la escala usada al ser global, resulta que dicho incremento es prácticamente en todo el país excepto en la zona norte, lo cual es bastante alejado de la realidad, ya que según lo visto, elementos como la topografía determinan que en el país también hay disminuciones (IDEAM, UNAL, 2018), es decir, a pesar de que se cuenten con modelos robustos, técnica y científicamente hablando

(como los del IPCC), escalas más detalladas dan cuenta de una situación más aproximada a la realidad, como ocurre en la presente investigación.



Figura 13. Escenario de precipitación anual para 2080 resultado del promedio de los modelos usados por el IPCC.

Fuente: Hurtado y Mesa, 2015.

9.2. Estadística y método de interpolación

Las pruebas de t-Student y Kolmogorov Smirnov son pruebas estadísticas que permiten apoyar la existencia del cambio climático, ya que esta investigación parte de la suposición de que el cambio climático en este departamento existe por los múltiples autores que mencionan que el cambio climático está presente en todo el país como lo es el IDEAM. En este sentido, los resultados de estas pruebas (Tabla 6) evidencian nuevamente apoyan la existencia de este fenómeno en el departamento de Putumayo y además, las estaciones que tuvieron una “Hipótesis Alternativa” para la prueba de t-Student y una “Hipótesis Alternativa” para la prueba de Kolmogorov Smirnov, son las estaciones en donde existió una gran variación de las variables especialmente para la precipitación (Tabla 7 y 8). Así mismo, la primera prueba nos permite determinar si existe una diferencia significativa a comparación de la prueba de Kolmogorov que nos permite establecer si los datos provienen o no de una distribución normal.

En esta investigación se tuvieron en cuenta dos métodos de interpolación, en primer lugar, se graficaron los mapas de precipitación y temperaturas con el método Kriging y posteriormente con el método de interpolación IDW. Una vez se obtuvieron los mapas con ambos métodos de interpolación se procedió a la comparación y se evidencio que este último método tenía una mejor resolución espacial para ambas variables a comparación del primero por lo que se seleccionaron los mapas de este método. En esta medida, el método de interpolación IDW posiblemente tuvo una mejor interpolación espacial al

contemplar los valores medios de los puntos de muestra (estaciones meteorológicas usadas) y resulta tener una mayor facilidad de interpolación a comparación del método de Kriging, ya que este pese a que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados, se debe realizar una investigación más profunda del comportamiento espacial del fenómeno de los valores Z (ESRI, 2020b)

9.3. Efectos territoriales en la población

En cuanto a los aspectos de los efectos territoriales, respecto a la población, ha cambiado relativamente poco, aproximadamente 38.000 personas más en 2018 respecto a 2005, lo cual en proporción de aumento es similar al incremento nacional (alrededor de 12% para ambos), no obstante, si hay una diferencia respecto a las áreas, a nivel nacional el aumento de población en cabeceras municipales fue de 14,2% mientras para el departamento fue de 28,7%, situación que también se da en los municipios, ya que en su mayoría (a excepción de Valle del Guamuez y San Francisco) tuvieron incrementos en la cabecera municipal, algunos con valores superiores a 40% e inclusive del 79% como Puerto Leguízamo (Tabla 13). También, es interesante que de los cinco municipios que registraron decrecimiento poblacional, tres presentaron aumentos en la cabecera, es decir, puede ser prueba del asentamiento en centros urbanos influenciado -entre otros factores- a movimientos poblacionales por problemas en la productividad agropecuaria, ya que existen evidencias acerca de impactos importantes en estos por los efectos del cambio climático (Magrin et al, 2014, citado en Organización Internacional para las Migraciones (OIM), 2017), es decir puede ser un motivante para abandonar las zonas rurales y llegar a los centros urbanos, situación que se ha dado en otros municipios del país (Gonzaga y Hernández, 2014). Adicionalmente, es clave resaltar que, los cinco municipios referenciados en los que en total ocurrió un decrecimiento de la población (Orito, San Francisco, San Miguel, Santiago, Valle del Guamuez), son los que evidenciaron las mayores variaciones en las variables analizadas (Figuras 12 a 15; Tablas 11 y 12), Orito, San Miguel y Valle del Guamuez con tendencias significativas de incremento de precipitación, Santiago con disminución y San Francisco con aumento tanto en esta variable como en temperatura, por lo cual, se podría asociar dichos movimientos poblacionales con el cambio climático y su distribución. Si bien, es imperativo tener en cuenta los desplazamientos forzados por causa del conflicto armado, el departamento registró las mayores movilizaciones por estas causas antes del 2005, (año del censo desde el que se parte el análisis de información) además, adicional a la disminución generalizada de este hecho en el periodo 2005-2018, históricamente, a excepción de San Miguel, dichos municipios no son los principales donde emigran personas, ya que también algunos reciben personas incluso en cantidades proporcionales (Fundación Ideas para la Paz, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, OIM, 2014; Fundación Paz & Reconciliación, Fundación Redprodepaz, 2014; Unidad para las Víctimas, 2020) No obstante, a pesar de lo anterior, no se puede asegurar directamente la correlación entre las disminuciones poblacionales y el cambio climático y lo que asocia, ya que la complejidad del conflicto vivido, sumado a la ausencia de información concreta relacionada a movilizaciones por causas ambientales en el país, lo cual se describe a continuación, imposibilita aseverar dicha afirmación.

Lo anterior es planteado debido a que entre los múltiples efectos del cambio climático, se incluye las consecuencias directas a las personas, representado por medio de los desplazamientos que tienen que realizar, es decir las migraciones climáticas, que son producto de una decisión subjetiva, donde confluyen un conjunto de factores que determinarán el rumbo a seguir ante una amenaza o hecho derivado del cambio climático, como por ejemplo, desastres naturales (inundaciones, crecientes repentinas) o procesos climáticos que derivan en consecuencias como la desertificación o la escasez de agua por nombrar

algunos (Organización Internacional para las Migraciones, 2017), no obstante, existe dificultad de separar los factores ambientales y de cambio climático, de otros aspectos desencadenantes de la movilidad humana, como lo referente a lo político, social y económico. En Colombia, debido a los conflictos sufridos a lo largo de los años, el enfoque sobre el tema de desplazamiento ha sido exclusivo a los de causas violentas, por tanto “no existe una institución gubernamental ni políticas que aborden los desplazamientos poblacionales por el cambio climático en Colombia” (OIM, 2017), lo que conlleva a “enmascarar” otras causas relacionadas al desplazamiento forzado, como las relacionadas al ambiente. Sin embargo, teniendo en cuenta que Colombia puede ser uno de los países más afectados por el cambio climático debido a su ubicación ecuatorial y a su condición orográfica (CEPAL, 2013, citado en OIM, 2017), el tema de los desplazados ambientales debería ser abordado con mucha relevancia, pero, la realidad evidencia que estos han sido relegados, siendo por ejemplo, la población afectada por desastres naturales o climáticos referidos como damnificados, lo cual finalmente no es un reconocimiento apropiado, ya que reduce la comprensión del desplazamiento forzado por fenómenos climáticos y todo lo que implica (Gonzaga y Hernández, 2014).

Lo anterior deriva en que el país no tenga registros consolidados de movilizaciones por cuestiones ambientales y/o climáticas, (DNP, DANE, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Salud y Protección Social, y Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2018), por tanto conocer cifras que permitan analizar esta dinámica es complejo, por ejemplo, el Observatorio de Desplazamiento interno (IDMC por sus cifras en inglés) que recolecta y analiza datos de este tipo a nivel mundial, tiene que reportar los desplazamientos por desastres en el país, con base a los reportes de prensa -que usualmente citan figuras gubernamentales- (IDMC, 2020b). Dicho observatorio reportó que en 2018, de los 67.000 nuevos desplazamientos asociados a desastres en Colombia, 30.000 ocurrieron solo en Putumayo, por lluvias torrenciales que causaron el desborde de varios ríos en el departamento (IDMC, 2019), mientras en 2019, inundaciones ocurridas en Puerto Leguízamo provocaron la evacuación de 11.000 personas (IDMC, 2020a; 2020b). Otro registro de este tipo, y del que se puedan extraer cifras concretas del departamento, es el del censo del DANE de 2005, donde registraron el total de personas que cambiaron de lugar de residencia entre 2000 y 2005, resultando que 10.895 lo hicieron por riesgo de desastre natural, lo cual no es un dato menor, ya que fue el séptimo con mayor cantidad a nivel nacional entre los departamentos y el distrito capital, y el primero de la región amazónica; además, importante mencionar que la mayor proporción ocurrió en centros poblados y rural dispersos, contrario a la tendencia nacional donde la mayor proporción fue la población de cabecera. Ahora bien, la emergencia invernal de 2010-2011 tiene un registro del impacto, 16.539 personas potencialmente damnificadas y afectadas, así como 34.576 ha de suelo para cultivos y pastos afectados, y aunque hay departamentos con cifras mucho mayores, Putumayo fue el más afectado de la región Amazónica (DANE, IGAC, IDEAM, 2011), no obstante, como se mencionaba, el término damnificados es amplio, es decir, no distingue de personas que tuvieron que migrar. Finalmente es importante recordar la tragedia ocurrida en Mocoa, en marzo de 2017, donde el aumento drástico de precipitaciones provocó el desbordamiento de los ríos Mocoa, Sangoyaco y Mulatos causando la desaparición y muerte de más de 270 personas, así como la evacuación inmediata de 600 habitantes y una afectación indirecta de alrededor de 45.000 personas (GIZ, 2017). Todo lo anterior exhibe, que, aunque la susceptibilidad a desastres naturales es algo muchas veces inherente, la incidencia del cambio climático es capaz de intensificarlos, por ende, las cifras anteriores - y lo que representan- evidencian la vulnerabilidad de las personas el departamento frente al cambio climático, además, teniendo en cuenta las tendencias del clima en el propio departamento, las afectaciones a la población pueden ser muy marcadas, desde consecuencias económicas hasta problemas en salud o riesgos para la vida.

9.4. Efectos territoriales en la salud

En cuanto a salud, los efectos generados por el cambio climático tiene un impacto directo, ya que también alteran los comportamientos socioeconómicos del departamento, en este sentido y con base en los resultados obtenidos en la zona del Putumayo Alto, donde están los valores más bajos de lluvia y temperatura, las afectaciones que posiblemente pueden haber sobre los habitantes, están asociados a la desnutrición producto de la pérdida de los sistemas agrícolas y cuerpos de agua de abastecimiento. Dicho esto, el IPCC (2014b), hace alusión a que los efectos del cambio climático afectarán la salud humana principalmente ocasionando pérdida de vitalidad en muchas regiones y especialmente en los países en desarrollo de bajos ingresos, asimismo, con una mayor probabilidad de desnutrición derivada de una menor producción de alimentos, riesgos de pérdida de capacidad de trabajo y menor productividad laboral en las poblaciones vulnerables, además de mayores riesgos de enfermedades transmitidas por alimentos y agua.

Por otro lado, en el Putumayo Medio y Bajo, se observa los mayores valores de precipitación y temperatura, lo que puede generar un aumento de casos de enfermedades asociadas a vectores en zonas endémicas y la aparición en zonas no endémicas, en este sentido, Pacheco, Villamizar y Álvarez (2019) mencionan, que los efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana por alta precipitación y temperatura, se encuentran los de transmisión de enfermedades por vectores en donde se identifica que existe una relación entre estas variables con la proliferación de aquellos. Igualmente, se ha observado que el fenómeno del Niño (ENOS), es un evento que incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas como la malaria en un 30% en Colombia, dicha está presente en el departamento, además, la variable de temperatura puede llegar a determinar si aumenta o disminuye la supervivencia del vector, al condicionar la tasa de crecimiento de la población de estos, modificando también el período de incubación y el patrón de transmisión, mientras que el aumento de la precipitación podría aumentar el número y la calidad de los criaderos de portadores y la densidad de vegetación que proporciona ecosistemas donde posarse (Moreno, y Vélez, 2005).

De igual forma, en el estudio *The Health Impacts of Severe Climate Shocks in Colombia*, se apoya nuevamente la anterior idea, al mencionar que en el caso de los vectores, el cambio climático al alterar la temperatura y humedad, afecta la probabilidad de que los vectores transporten patógenos generando afectaciones en la salud, además, de influir sobre las tasas de supervivencia de estos y por tanto su abundancia de distribución geográfica, mientras que, para el caso de los huéspedes, puede ocasionar que se propaguen enfermedades a zonas y regiones que presentan una estabilidad endémica, como el paludismo o en zonas no endémicas ocasionando que los individuos de estas regiones puedan no haber desarrollado algún tipo de inmunidad a estas enfermedades y generando casos de brotes (Dolores de la Mata y Amaya, 2014). Por otra parte, el estudio de “Climate Change Impacts on Waterborne Diseases: Moving Toward Designing Interventions”, evidencia la gran carga de enfermedades diarreicas asociadas a los efectos climáticos, teniendo profundas repercusiones en la salud de la población, especialmente en las vulnerables, debido a que se transmiten comúnmente por cuerpos de agua, adicionalmente, como la transmisión de estas enfermedades diarreicas se ve facilitada por la insuficiencia o la falta de agua potable, el cambio climático tiene el potencial de alterar su distribución e incidencia (Levy, Smith, y Carlton, 2018). A partir de lo anterior, es fundamental empezar a mitigar y adaptar los efectos del cambio

climático especialmente en los municipios de Puerto Leguizamó, Puerto Asís, Puerto Guzmán, Puerto Caicedo, parte Sur de Mocoa, Villagarzón y límites entre los municipios de Orito y Valle del Guamuez, ya que estos, según lo dicho, presentan condiciones propicias asociadas a vectores debido al incremento de lluvias y temperatura, que a su vez se intensifica, por factores indirectos como en los servicios de saneamiento básico y agua potable.

También hay que tener en cuenta la incidencia en poblaciones vulnerables respecto a la salud, como las comunidades indígenas, para ello, Ramírez et al (2007) hace referencia que en la zona del Putumayo Bajo, en el PNN La Paya, se encuentran ocho resguardos indígenas: El Hacha (Siona), Comsará (Coreguaje), Jiri (Murui), Lagarto Cocha (Murui), Tuku-nare (Murui), Aguas Negras (Murui), Cecilia Cocha (Inga-Kichwa) y La Apaya (Inga-Kichwa), también, Baez (2015), menciona que en Putumayo Medio se encuentran los pueblos Inga, Siona y Kofán y en el Putumayo Alto el pueblo Kamentsa. Debido al detrimento que puede causar el cambio climático en las dinámicas culturales e históricas de dichas comunidades, especialmente en los resguardos indígenas ubicados en el Putumayo Bajo por las temperaturas altas y precipitaciones medias, y en el Putumayo Alto a causa de las bajas lluvias y temperaturas, se puede acarrear una serie de afectaciones a la salud, como las anteriormente descritas. Sin embargo, en este contexto, las comunidades indígenas juegan un rol muy importante al mitigar los efectos del cambio climático, Jamioy en 2012 (citado en Báez, 2015) menciona, que las interacciones de las comunidades indígenas con su entorno basado en los conocimientos tradicionales, genera la conservación de los ecosistemas y de los bienes y servicios ambientales. En esta medida, los conocimientos culturales y tradicionales de estas comunidades indígenas, generan herramientas que pueden ser implementadas para la adaptación y mitigación al cambio climático para el departamento y por esa razón, pese a que es un grupo muy vulnerable, estas mismas dentro de sus conocimientos, interacciones y estilos de vida, permiten acceder a sus saberes para de esta manera poder seguir aprendiendo para la implementación y articulación en las estrategias de mitigación y adaptación del cambio climático del departamento. De igual forma, es primordial seguir generando proyectos que vayan encaminados con la conservación y protección de estas comunidades en el departamento, ya que le están ofreciendo al mismo, servicios importantes, especialmente para la mitigación del cambio climático.

9.5. Efectos territoriales en coberturas

En cuanto a coberturas, el cambio climático puede incidir en la consecución de incendios forestales en zonas como la Amazonía y los Andes (Altamira, 2014; IPCC, 2014b; OIM, 2017), no obstante, para el caso de Putumayo, los incendios no son un gran problema que se haya agravado al pasar de los años, al examinar las estadísticas sobre incendios que dispone el IDEAM (2018b), entre 2002 y 2016, estos eventos han sido casi nulos en esta zona del país, lo que se puede deber principalmente al régimen de precipitaciones, ya que, aunque las temperaturas sean altas, las lluvias también son abundantes respecto a otras áreas del país que sufren la problemática de los incendios (IDEAM 2014b; 2014c), además, teniendo en cuenta la tendencia de incremento en la mayoría del territorio, esta situación probablemente no será un problema (aunque la temperatura también aumente) como sí ocurre en otros lugares del país o el mundo, como actualmente, que se está evidenciando cada vez más este problema agravado por el cambio climático. En su lugar las afectaciones en coberturas que si se presentan en el departamento, se relacionan a un cambio del comportamiento en las actividades agrícolas y el uso del suelo, las cuales en el país pueden verse afectada en su mayoría por cambios en más de la mitad de las áreas cultivadas (IPCC, 2014c), también la OMS (2016) hace referencia en que estas repercuten en los agricultores por la variación en el clima, generando la pérdida de bienes y tierras de cultivo, significando a su vez una

limitante para los pequeños agricultores que deberán contraer créditos para adquirir tecnología adecuada, sumando al hecho que tienen que superar las posibles amenazas naturales.

Por otro lado, se encuentra las afectaciones de las coberturas hacia el cambio climático, especialmente en relación a la pérdida de coberturas de bosques por deforestación que, por distintos motivos como incluir cultivos, urbanizar, extraer madera o para praderización (incremento superficie sembrada en pastos), genera la pérdida de biodiversidad y reservorios de carbono, que son fundamentales para la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático. Según los resultados dispuestos por el SINCHI, es evidente la disminución progresiva de coberturas naturales al pasar los años, estas han disminuido un total de 8,5% entre 2002 y 2018, asimismo, en cuanto a seminaturales, coberturas fragmentadas o de transición que se generan luego de perturbación a los bosques, se han incrementado en 9,7%, finalmente para las áreas artificializadas en este periodo, en general han sido leves los cambios, con algunos aumentos o decrecimientos. Lo anterior, a pesar de mostrar signos positivos, por la ausencia de incrementos en coberturas artificiales y relacionado al aumento de vegetación secundaria que puede significar la recuperación paulatina de superficies naturales, sin embargo, la pérdida de cobertura vegetal sigue siendo un gran problema, entre 2002 y 2007 se deforestaron 1.090,48 km² (SINCHI, 2011) , entre 2007 y 2012 628 km² (SINCHI, 2014) y entre 2014 y 2019, 691,69 km² (MADS, 2015; IDEAM, MADS, 2016; 2017; 2018; 2019; 2020), lo que evidencia que, aunque hubo una reducción importante de la tasa de deforestación, está persiste, siendo tal la problemática, que las emisiones de GEI asociadas a la pérdida de bosque natural tienen la mayor representación en el departamento, por ejemplo en 2012 fue del 67%, situando a Putumayo como el quinto departamento que más aporta en esta categoría, situación que es significativa, ya que históricamente el sector forestal (relacionado principalmente a la deforestación) es el que más aporta emisiones en el país (IDEAM, PNUD, MADS, y DNP, Cancillería, 2016b).

Ahora bien, el cambio de cobertura forestal puede no solo ser uno de los causantes del cambio climático, también puede influir en la alteración del clima localmente, Tiria, Bonilla J. y Bonilla C. en 2018, aportan que la conversión de bosques naturales a pastos limpios provocan “efectos de compactación en el suelo y cambios en la evapotranspiración, que inducen una alteración en los flujos de calor y humedad entre la superficie terrestre y la atmósfera”, además Salazar en 2011 (citado en Hurtado et al., 2015) estima que “un posible cambio futuro drástico en la cobertura en la zona amazónica, traería reducción en las precipitaciones en Colombia de un orden de magnitud de 300 mm/año”. Esto, podría dar una aproximación a la situación obtenida en la distribución de la precipitación y temperatura de algunas zonas, por ejemplo, como los resultados de la estación El Pepino en Mocoa, la cual registró la mayor reducción de precipitación (Tabla 11, Figura 17), al revisar dicha estación apoyado en imágenes satelitales LANDSAT, se puede apreciar espacios alrededor cada vez más deforestadas entre 1988 y 2019 (Figuras 14 y 15), lo que iría acorde a lo planteado por estos autores. También, en el área se encuentra cerca la estación Villagarzón, y aunque esta no varió mucho en cuanto a precipitación, si denota aumento en la temperatura, mayor al de la zona que lo rodea, generando así un “núcleo” en la distribución espacial de la variable en la segunda ventana para este espacio, donde la estación El Pepino también denota un incremento (Figura 16). No obstante, es importante tener en cuenta que por las complejas condiciones y procesos que ocurren en el departamento (en consecuencia, de su ubicación e interacción entre la región andina y amazónica) influyen en gran medida, entre muchas cosas, en el régimen de lluvias y su configuración espacial.

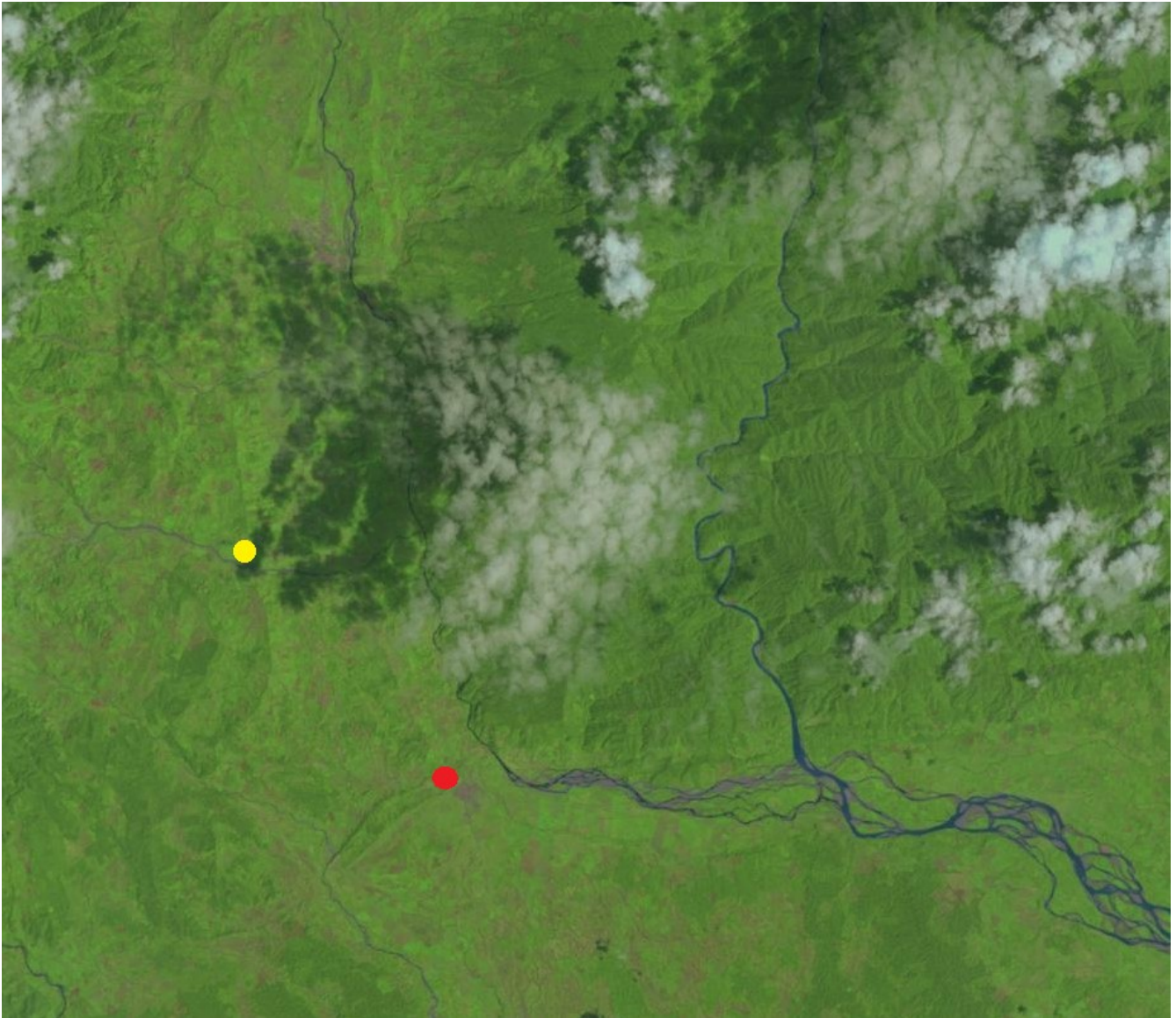


Figura 14. Imagen satelital del área de las estaciones El Pepino (punto amarillo) y Villagarzón (punto rojo). Año 1988.

Fuente: Autores (2020). Con información tomada de Earth Explorer.

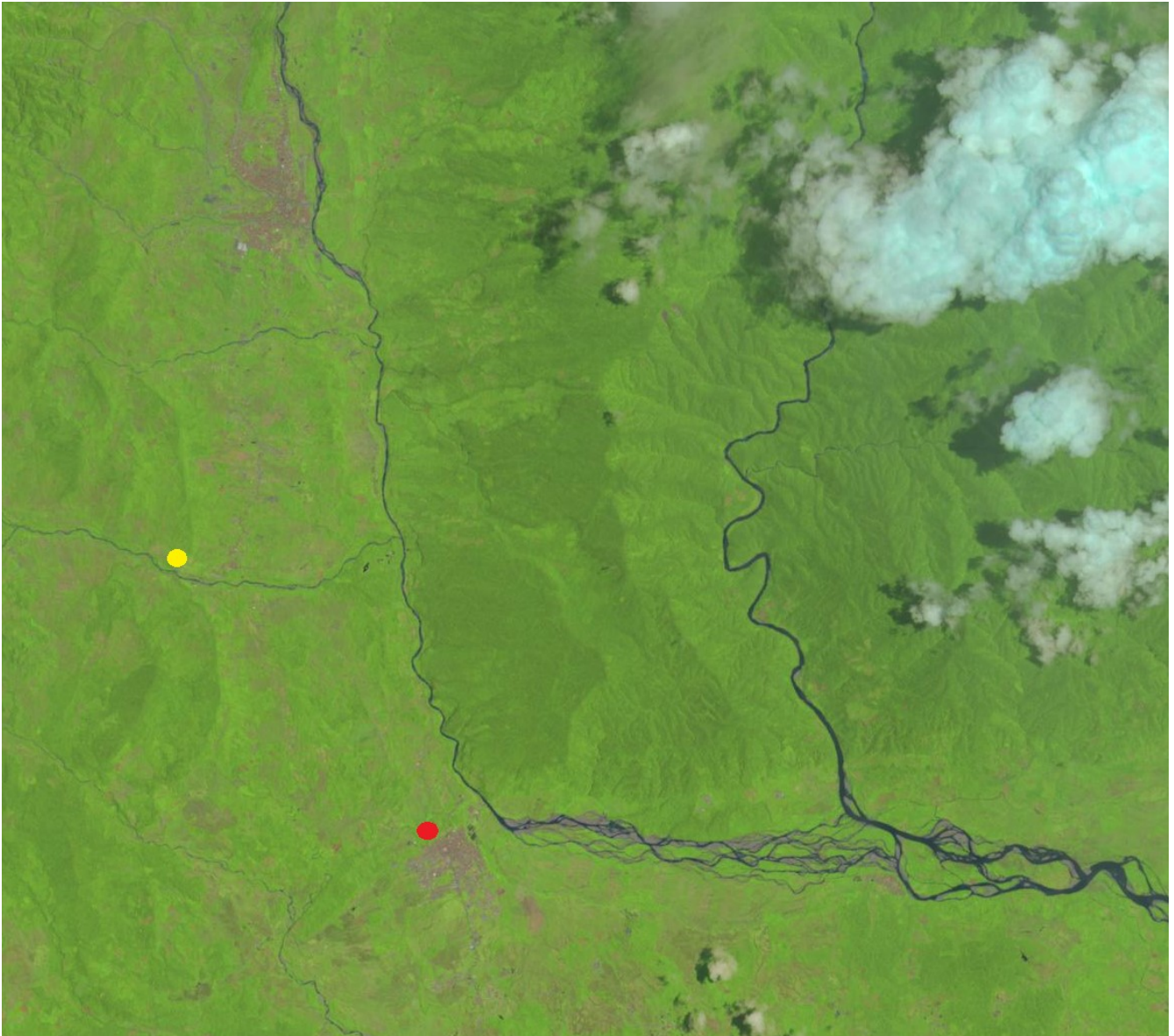


Figura 15. Imagen satelital del área de las estaciones El Pepino (punto amarillo) y Villagarzón (punto rojo). Año 2019.

Fuente: Autores (2020). Con información tomada de Earth Explorer.

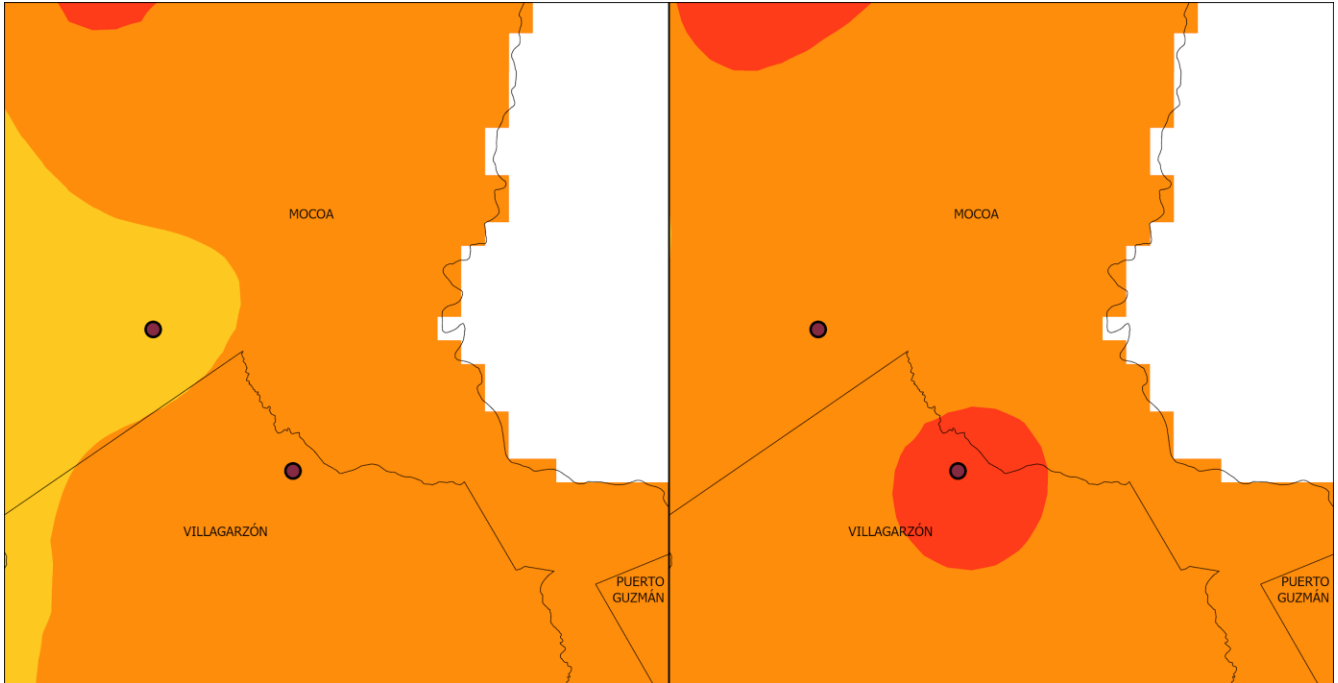


Figura 16. Resultados de temperatura ampliados al área de las estaciones El Pepino y Villagarzón. Izquierda: Ventana 1. Derecha: Ventana 2. Temperatura menor color amarillo, mayor color rojo. Fuente: Autores (2020)

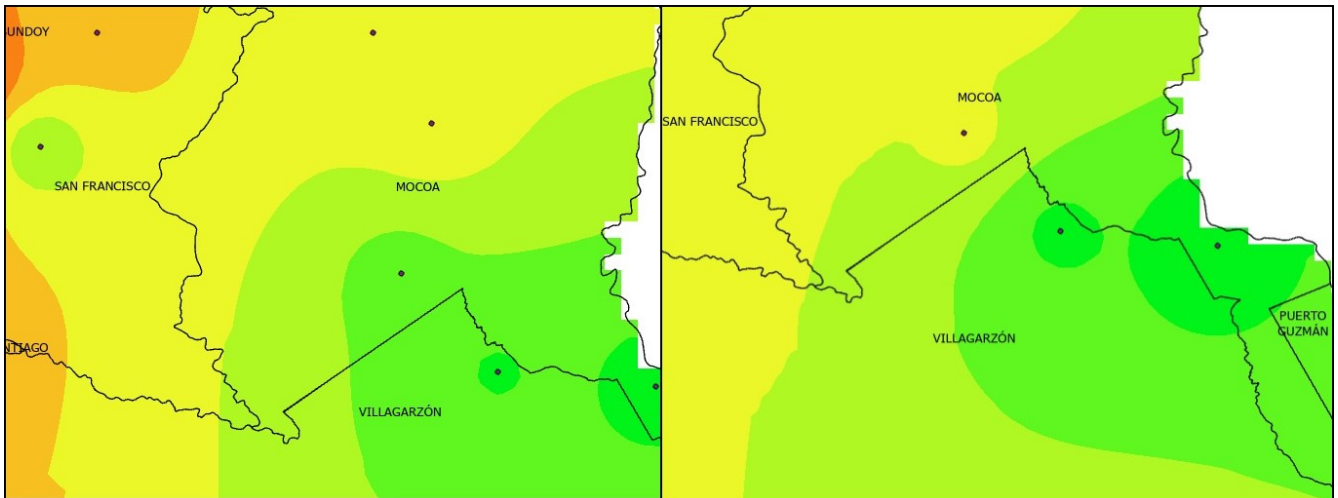


Figura 17. Resultados de precipitación ampliados al área de las estaciones El Pepino y Villagarzón. Izquierda: Ventana 1. Derecha: Ventana 2. Menor precipitación color rojo, mayor color verde oscuro. Fuente: Autores (2020).

9.6. Efectos territoriales en agua

Con relación al recurso hídrico, los efectos se ven reflejados en todo el departamento, producto de la alta demanda de servicios ecosistémicos existentes, sin embargo, este componente ha tenido una gran afectación producto de las actividades antrópicas, generando posibles cambios por la variación en el comportamiento analizado en algunas zonas del departamento, pudiendo ocasionar alteraciones en las dinámicas y niveles de flujo de corrientes en cuerpos de agua. En esta medida, el Putumayo Alto, por las bajas precipitaciones y disminución tendencial, puede tener afectación directa en el presente componente, sin embargo, cabe resaltar que en esta zona hay una conectividad de gran dimensión que presenta una interacción ecosistémica muy importante, al encontrarse el complejo de humedales del Valle de Sibundoy adicionado a la influencia de la parte alta del río Putumayo, además de la presencia de dos páramos (Figura 18). Para lo anterior, el IDEAM (2018a) menciona que los humedales al cumplir varias funciones ecosistémicas están siendo transformados progresivamente, dado que son fuente de suministro de agua dulce, alimentos, materiales de construcción y son territorios aptos para la agricultura. En este sentido, se evidencia gráficamente que en la zona del Valle de Sibundoy registra uno de los valores más bajos de precipitación del departamento, esto se debe a que como se mencionó anteriormente, en esta zona la topografía es muy variada y presenta diferentes tipos de ecosistemas, como en el Valle de Sibundoy que se encuentra sobre los 2.000 msnm en su parte plana y los 3.300 msnm en su parte alta, en la zonas montañosas cuenta con la presencia de los páramos de Bordoncillo y Cascabel estructurando el régimen hídrico y en la zona plana se encuentra el complejo de 18 humedales de los cuales 7 se localizan en el municipio de Sibundoy, 3 en Colón, 4 en Santiago y 4 en San Francisco. Para esta zona en específico la precipitación es un factor importante para el comportamiento químico, físico, biológico y ecológico debido a que con la ocurrencia de lluvias fuertes se presentan inundaciones por la acumulación de sedimentos producto de actividades asociadas a la erosión, deforestación y el mal manejo de la parte alta del río Putumayo además, CORPOAMAZONIA (2014) menciona que la mayor ocurrencia de deslizamientos y remociones en masa se encuentra ubicado en la zona del Valle de Sibundoy teniendo unas fuertes implicaciones sobre las dinámicas socioeconómicas y detrimento sobre la salud (CORPOAMAZONIA, 2006).

No obstante, para esta investigación al poder analizar la distribución espaciotemporal de precipitación a una escala específica, se pudo determinar que para el Putumayo Alto, lugar donde hace parte el Valle de Sibundoy, existe una disminución de la V1 respecto de la V2, pero esto no quiere decir que la variación sea tan significativa, teniendo en cuenta también que San Francisco perteneciente al Valle presentó un aumento. Así mismo, en el *Plan de Manejo Ambiental de los Humedales de la parte plana del Valle de Sibundoy*, realizan un estudio climático, entre ellas la variable de precipitación, en esta zona a través de la estación meteorológica de Michoacán, en ese sentido, se enfatiza que dicha fue la estación de referencia para aquel estudio, la cual también fue usada en este trabajo. A partir de los resultados para la presente investigación de esa estación, se obtuvo un resultado de 1900,12 mm y 1739,02 mm para la V1 y V2 respectivamente, también, para la estación Balsayaco, de apoyo por su proximidad a la zona del Valle de Sibundoy, se obtiene un resultado de 2074,24mm y 2044,02 mm (Tablas 5 y 6) evidenciando una vez más la disminución de la precipitación para la V1 y V2 en esta zona. A partir de lo anterior, se puede establecer que estadísticamente se ve evidenciado la variación de disminución, ya que como se mencionaba anteriormente, gráficamente no es muy notorio el cambio. Finalmente, se resalta que esta zona tan importante por los servicios ecosistémicos que ofrece al departamento está teniendo una presión muy fuerte ya que por un lado, los ecosistemas del Valle de Sibundoy están categorizados de alto riesgo debido a que son de importancia regional pero actualmente tienden a desaparecer por la presión antrópica

y desecación, adicionalmente, este tipo de ecosistemas se ve afectado por la variación tanto de la precipitación como la temperatura, afectando de manera directa las dinámicas ecosistémicas, la fauna y flora ya que son sistemas naturales muy susceptibles frente a estas variaciones, por lo que se puede correlacionar la disminución descrita con la posible pérdida progresiva del espejo de agua y un detrimento de los servicios ecosistémicos (CORPOAMAZONIA, 2006; 2014).

Por otro lado, la cuenca alta del río Putumayo al ser el eje principal del Valle de Sibundoy, tiene una importancia muy significativa tanto para las dinámicas socioeconómicas de los municipios del Putumayo Alto como para el ecosistema humedal, al estructurar la mayor parte de las dinámicas hídricas en esta zona. Para el año 2007, se establece que en los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco, residen 34.711 personas dentro de las cuales 34.468 se encuentran en la cuenca alta, es decir correspondiente al 99,3% de la población total del Putumayo Alto (DANE, 2007 citado en CORPOAMAZONIA et al, 2009). A pesar de que se están ofreciendo una gran variedad de servicios ecosistémicos de gran importancia para mitigar los efectos del cambio climático, es evidente la fuerte presión que se está ejerciendo, debido a que las dinámicas sociales y económicas que están arraigadas sobre estos dos ecosistemas, aunado a la posible presencia de fenómenos extremos asociados a sequías, generando un desbalance de los servicios ecosistémicos y más aún cuando en esta zona en específico muestra una tendencia de disminución durante el periodo analizado. De igual forma, en el documento “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020”, evidencia que el agotamiento de agua como consecuencia del cambio climático y la contaminación son las principales causas de pérdida de biodiversidad y degradación de los ecosistemas reduciendo la resiliencia de ecosistemas y haciendo que las poblaciones tengan un aumento en la vulnerabilidad a los riesgos climáticos y no climáticos.



Figura 18. Mapa de la conectividad ecosistémica entre el Valle de Sibundoy con la cuenca alta del río Putumayo y los páramos de bordoncillo y Cascabel.

Fuente: CORPOAMAZONIA, 2006.

Mientras, para el Putumayo Medio y Bajo, Altamarino (2014) indica que, a causa del cambio climático ocurren alteraciones ecológicas como la abundancia de lluvias, estableciendo que entre las zonas vulnerables a este impacto se encuentra la Amazonía. Ahora, con base a esto, al revisar información de zonas susceptibles de inundación como la generada por el IDEAM en 2010 (Figura 19), se exhibe el gran riesgo en estas zonas, especialmente, en la zona de piedemonte de los municipios de Orito, Valle del Guamuez, San Miguel Villagarzón y la parte Sur de Mocoa, ya que como se ha establecido, dichos presentan -y presentarán- los aumentos más significativos de lluvia, lo que puede empeorar los fenómenos de inundaciones, aumentando la vulnerabilidad, social y económica en aquellos. Inclusive, como se mencionó anteriormente, algunos autores respaldan nuevamente que encontraron un aumento importante de la precipitación en el Piedemonte de Putumayo.

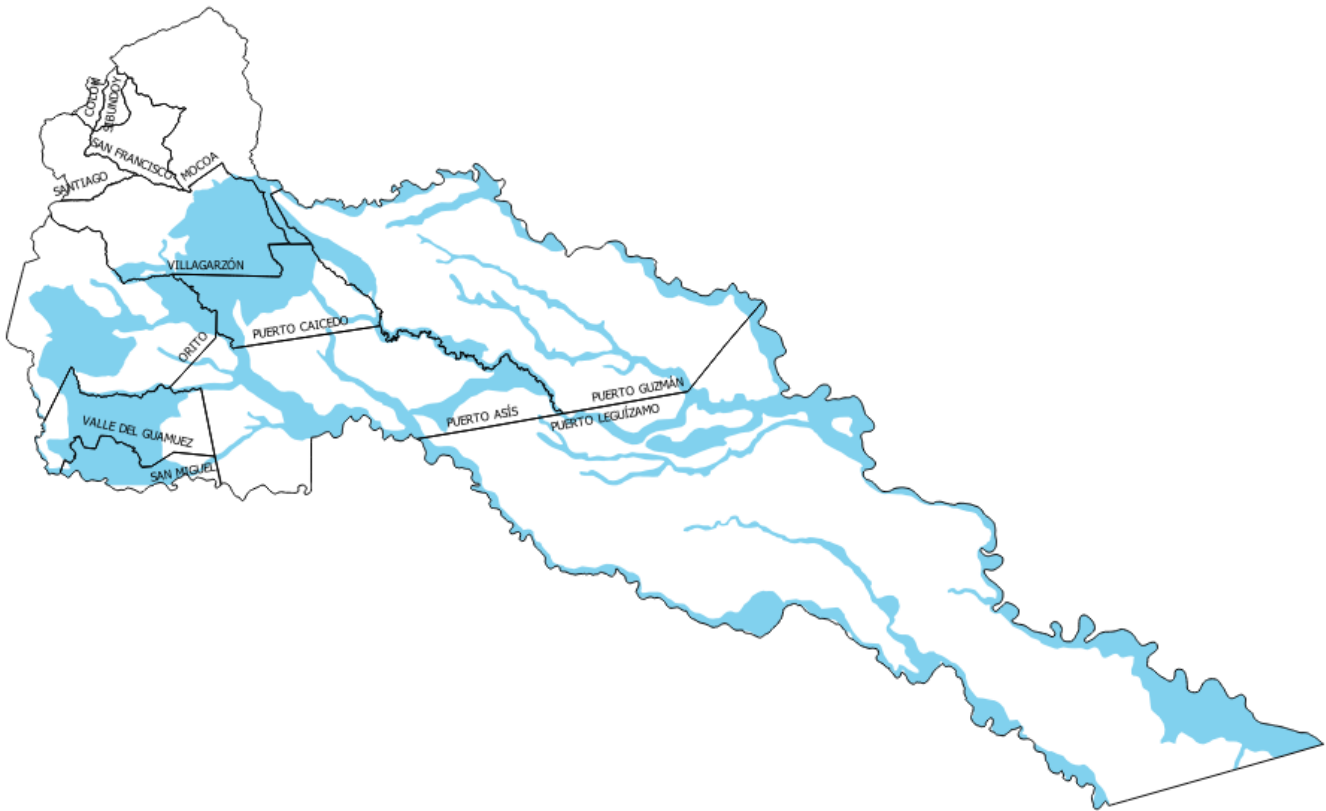


Figura 19. Zonas susceptibles de inundación año 2010.
Fuente: Autores (2020). Con información del IDEAM, 2010

Las interacciones en las dinámicas del agua en este departamento tienen un carácter de una gran importancia ecológica al ofrecer una gran cantidad de servicios ecosistémicos y beneficios socioeconómicos para el departamento. En este sentido es evidente la fuerte interacción que se presenta en el Putumayo Alto asociado al Valle de Sibundoy por presentar ecosistémicos como páramos y la cuenca alta del río Putumayo. De igual forma, tanto en el Putumayo Medio y Bajo y su interacción con el piedemonte amazónico resulta igualmente importante para esta dinámica del recurso hídrico, al ofrecer

o permitir esa conectividad entre la zona de los andes y la amazónica además de lograr una fuerte relación con los ecosistemas de humedales y todas aquellas cuencas hidrográficas y microcuencas asociadas al PNN La Paya. Sin embargo, como se evidencia para cada una de estas zonas y los comportamientos de las variables analizadas en esta investigación, pueden llegar a haber una posible relación sobre los efectos que está generando el cambio climático, el cual puede generar un desbalance ecosistémico relacionado con el agua, de forma muy crítica para el departamento producto, tanto en relación a los fenómenos extremos que se pueden presentar, como respecto a la variación de la precipitación y temperatura, modificando de manera irreversible en los comportamientos del recurso hídrico.

9.7. Efectos territoriales en ecosistemas y biodiversidad

Para el aspecto de ecosistemas y biodiversidad, estos son componentes fundamentales para desarrollar dinámicas socioeconómicas y culturales en el departamento, sin embargo, son vulnerables frente a los efectos del cambio climático, situación alarmante por su gran importancia ecológica e inmensa dimensión para mitigar los efectos de este, ya que como se mencionó el departamento es el tercero con mayor cantidad de especies del Amazonas colombiano. En materia de ecosistemas, los servicios que ofrecen en el departamento son de diversas magnitudes y a escalas, que van desde municipales hasta departamentales, de este modo, Orjuela (2016) menciona, que los servicios ecosistémicos ofrecidos por el suelo, son de vital importancia en el almacenamiento o fijación de carbono y en este sentido, con las condiciones mundiales del cambio climático, el suelo es de los mayores sumidero de carbono en la naturaleza ya que impide que el CO₂ vaya a la atmósfera, para lo anterior, articulado con lo mencionado por Orjuela, la UNESCO (2020) menciona que los efectos derivados del cambio climático como un déficit de lluvias, reducirán la humedad del suelo, el caudal de los ríos y la recarga de aguas subterráneas, por ende, es clara la estrecha relación entre el comportamiento de la precipitación y los efectos ocasionados sobre componentes del agua, suelo y coberturas, incidiendo directamente sobre la capacidad de los ecosistemas y a su vez de la biodiversidad. Adicionalmente, en el Putumayo Alto, la presión sobre los ecosistemas y biodiversidad posiblemente sea más alto debido al comportamiento de los más bajos registros de precipitación y temperatura, generando que los ecosistemas y biodiversidad sean más susceptibles a las variaciones tan marcadas en las variables analizadas, y por ende, se aumenta el riesgo de afectación para estos, especialmente de las 5 especies sombrillas identificadas y monitoreadas (ANDI, 2019), en este orden de ideas, CORPOAMAZONIA (2014), menciona que dentro de los ecosistemas de alto riesgo se encuentran las zonas de restricción de uso por amenaza, que comprende un área de 2.199,98 ha especialmente los ubicados en la zona del complejo de humedales del Valle del Sibundoy (CORPOAMAZONIA, 2014).

Al respecto Terborgh (1989) y Whitcom et al (1981) (citados en Ramírez et al, 2007), mencionan que la fragmentación de ecosistemas es una de las causas de pérdida de la biodiversidad en las zonas de la Amazonia y el mundo, teniendo implicaciones sobre la pérdida de conectividad de ecosistemas, el aislamiento y el flujo de nutrientes, de plantas y animales. Teniendo en cuenta esto, para 2002, se encontró que los ecosistemas naturales ocupan el 83,95% de la extensión del piedemonte andino-amazónico, el 16,05% correspondía a ecosistemas transformados, localizados principalmente en las zonas de piedemonte y a la desecación de los humedales pertenecientes al Putumayo Alto. A partir de lo anterior, pese a que existe un porcentaje relevante de ecosistemas transformados, el comportamiento de la precipitación y temperatura para zonas pertenecientes al Putumayo Medio no es tan notable para los ecosistemas presentes, debido a que la dinámica está dada por un régimen de alta precipitación y temperatura relativamente estable para las dos periodos analizados, generando que no haya una variación

climática tan marcada tanto para los ecosistemas como la biodiversidad presente en esta zona del departamento, sin embargo, como la importante tendencia de aumento en la zona de piedemonte para ambas variables, a largo plazo podría provocar impactos graves sobre estos componentes analizados asociados a comportamientos extremos de precipitación y temperatura, posiblemente generando una pérdida de conectividad en la zona andino-amazónica de biodiversidad, producto tanto de estos fenómenos como de las actividades antrópicas. Respecto a lo anterior, el Instituto Humboldt en 2014, establece que una gran parte del territorio nacional presentaría incremento en el número de especies de plantas de alto riesgo de invasión bajo escenarios de cambio climático, estando entre las zonas más afectadas el Piedemonte Amazónico, es decir, la relación entre el fenómeno climático y las especies invasoras puede impactar la biodiversidad actual de esta zona del departamento.

En Putumayo Bajo, donde hay ecosistemas y biodiversidad de gran importancia ecológica, principalmente asociados al PNN La Paya, es posible que exista una presión sobre estos al presentar las más altas temperaturas departamentales acompañado de precipitaciones bajas y medias, ocasionando posibles efectos sobre las dinámicas ecosistémicas y por tal razón, en los servicios ofrecidos por estos. Así mismo, en este parque se encuentran una gran biodiversidad de fauna destacándose la danta (*Tapirus terrestris*), el puerco salvaje (*Tayassu tajacu* y *Tayassu pecari*), el armadillo, (*Priodontes maximus*, *Cabassous unicinctus*, *Dasyus kappleri*), el chigüiro (*Hydrochaeris hydrochaeris*), el guatín (*Dasyprocta* sp.), la boruga (*Agouti paca*), el venado (*Mazama* sp.); el pato real, (*Cairina moschata*); garza cucharón, (*Cochlearius cochlearius*) entre otros (Ramírez et al., 2007). En este sentido, Moreno, Hidalgo y Alfaro (2019) mencionan que los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad se relacionan con los cambios en los patrones de precipitación y temperatura, por lo que es claro que en la zona frente al comportamiento de las variables ya descritos, existe una fuerte presión sobre los ecosistemas y biodiversidad, teniendo en cuenta que la tendencia es de aumento para estas mismas variables, lo que también genera riesgos en la distribución de especies, ya que tendrán que migrar para rastrear su nicho climático, debido al cambio paulatino de las condiciones actuales, especialmente aumento en temperatura, además, el riesgo es mayor porque al estar ubicadas en zonas donde el clima y relieve es homogéneo, las especies deberán movilizarse en grandes distancias, mucho más que las de montaña (Instituto Humboldt, 2014), por ende, el impacto será más significativo en esta parte del departamento.

Para finalizar los efectos territoriales a manera de síntesis, es claro que el cambio climático y los aspectos relacionados anteriormente están muy ligados, como la pérdida de coberturas, la alteración de ecosistemas, el incremento de la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos, que junto a la proliferación de plagas y brotes de enfermedades, afectan a los humanos y demás especies; todos estos además de ser impactados por el fenómeno climático global, actúan sinérgicamente entre sí al agravar aquellos y otros problemas. Lo anterior se podría reunir en un término llamado bioma, que puede considerarse como un conjunto de ecosistemas terrestres afines por sus rasgos estructurales y funcionales (IDEAM *et al.*, 2007), en dicho confluyen los cinco aspectos tratados en este documento, por lo que mencionar la posible afectación por cambio climático a estos, da cuenta de lo hablado a lo largo del análisis, para ello, según el Instituto Humboldt (2014), en un escenario entre 2011-2040 con aumento entre 1 y 2 °C, el 30,8% de los bosques tropicales de la Amazonía se verían afectados, así como el 95,5% de lagos, lagunas y espejos de agua, el 99,7% de los orobiomas andinos (biomas definidos por la presencia de montañas) y el 99,7% de los helobiomas amazónicos (lugares con mal drenaje o periodos prolongados de inundación); también, por reducciones de lluvias entre el 10 y 30% se verían afectados el 40,7% del área de los lagos, lagunas y espejos de agua y el 37,5% de los orobiomas andinos. Lo anterior demuestra la problemática, ya que el departamento en general, de seguir la tendencia actual, los rangos enunciados se alcanzarán, afectando los biomas descritos, los cuales se encuentran a lo largo del

Putumayo y reúnen todas las dinámicas territoriales descritas (Figura 20). Vale la pena resaltar que actualmente dos estaciones (Acueducto Mocoa y Villagarzón) registran aumentos de más de un grado en los últimos años (Tablas 8 y 9) lo que manifiesta de forma clara como ya se puede estar viviendo esta situación. Por otro lado, la reducción de la precipitación es clara en algunos municipios de la cordillera de los Andes, con valores cercanos al 10% (Tabla 11) por lo que de seguir así, según lo dicho, el orobioma andino se vería afectado a no tan largo plazo.

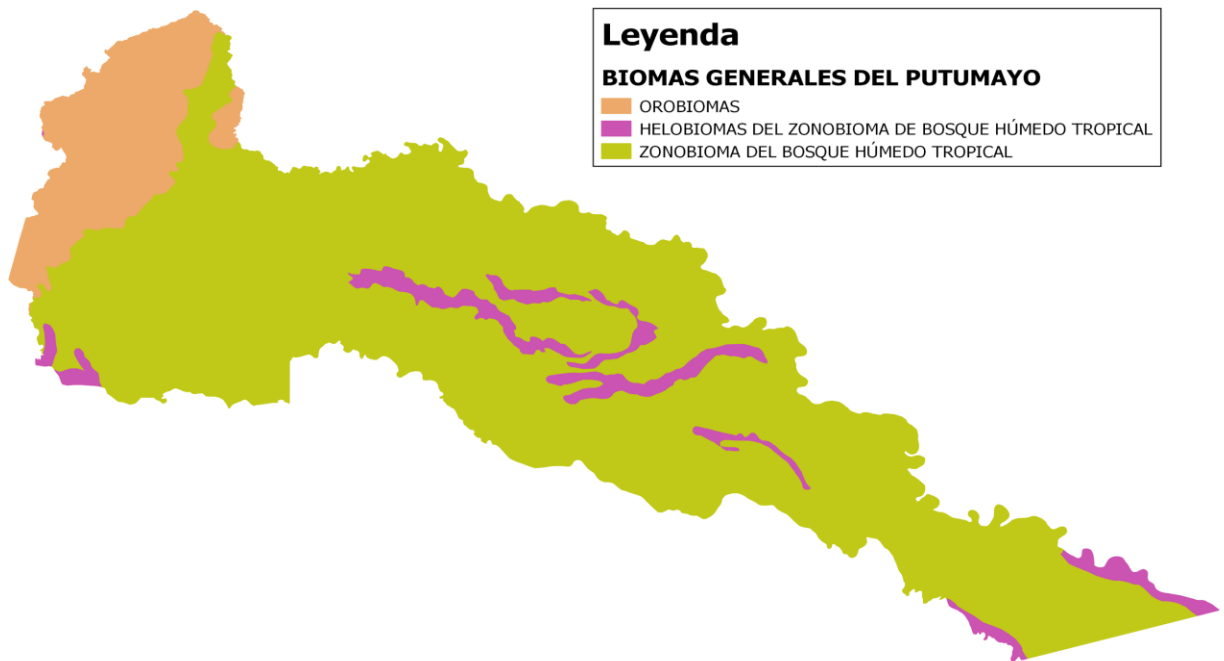


Figura 20. Biomas generales presentes en el departamento de Putumayo.

Fuente: Autores (2020). Con base a información del Sistema de Información Ambiental de Colombia.

9.8. Estrategias de adaptación y mitigación

Putumayo es uno de los departamentos con mayor riesgo y vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, en la *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático* frente a la CMNUCC, se categoriza en el puesto No. 6 de los 32 departamentos de Colombia en el ranking nacional de riesgo por cambio climático, en el puesto No. 20 de amenaza por cambio climático, puesto No. 11 en sensibilidad por cambio climático, No. 8 por vulnerabilidad y puesto No. 26 en el ranking nacional de capacidad adaptativa. A partir de lo anterior y con base a lo expuesto de las tendencias de aumento de las variables analizadas, es clara la necesidad de involucrar estrategias de adaptación y mitigación, ya que como se detalló, este departamento está ocupando puestos alarmantes respecto a otros en el país, además, los efectos del cambio climático están repercutiendo cada vez más sobre las dinámicas en el departamento. Una vez analizados los documentos por parte de entidades como CORPOAMAZONIA, IDEAM y la

gobernación (Plan departamental de Putumayo 2016-2019) sobre las estrategias planteadas en el tema, se evidencia que estas son de carácter muy general y poco detallado, y pese a que estas estrategias planteadas son de carácter nacional, las entidades deberían garantizar la adaptación e implementación de aquellas a una escala departamental y municipal para poder tener resultados efectivos.

Igualmente, las estrategias de adaptación y mitigación propuestas en esta investigación son posibles sugerencias que pueden contribuir con un mejor análisis a la toma de decisiones y también para aportar en investigaciones sobre el tema en el departamento. De igual forma, queda planteado que tanto las estrategias de adaptación como de mitigación propuestas, buscan una articulación de los ecosistemas y biodiversidad con las dinámicas socioeconómicas y culturales del departamentos a través de la adaptación basada en ecosistemas y de igual forma, que estas puedan aportar un conocimiento y marco de acción más amplio con un nivel de detalle más específico, teniendo en cuenta la distribución espacio temporal del cambio climático obtenida y las zonas más representativas por sus servicios ecosistémicos para la adaptación y mitigación de los efectos en el departamento.

Como se evidenció, Putumayo está en categorías preocupantes en cuanto a riesgo, vulnerabilidad, sensibilidad y capacidad adaptativa en el país, esto se da porque los municipios tienen categorías “negativas” frente a estos aspectos, por ejemplo, según el capítulo de *Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia* de la TCNCC (IDEAM et al., 2017a), de los 14 municipios, 10 tienen riesgo medio o alto, 11 vulnerabilidad y sensibilidad media o alta y todos exhiben capacidad adaptativa baja. Adicionalmente, este mismo documento evalúa algunas dimensiones en el territorio, como la seguridad alimentaria, la cual tiene sensibilidad muy alta además de riesgo y vulnerabilidad alta, lo que puede ser abordado mediante la estrategia de adaptación relacionada a la productividad agropecuaria al “Implementar sistemas agrosilvopastoriles con especies endémicas alineados con el aprovechamiento adecuado de la biodiversidad”; por su parte el recurso hídrico presenta vulnerabilidad y riesgo muy alto, que se puede mitigar mediante la “Gestión integral para la conservación, preservación, uso y manejo del recurso hídrico” al monitorear los cuerpos de agua y mejorar la planificación alrededor de las cuencas. Respecto a la biodiversidad, al igual que se evidenció en la investigación, tiene una sensibilidad alta junto a vulnerabilidad y riesgos muy altos, lo cual se aborda transversalmente debido a que las estrategias propuestas son basadas en los ecosistemas, es decir los beneficios son íntegros en este aspecto. Mientras, la salud manifiesta una amenaza alta -que también dio cuenta está investigación- pudiendo ser la adaptación en el departamento mediante “la gestión del conocimiento climático y sus impactos potenciales” especialmente referente a la salud (Tablas 14 y 15).

La dimensión de infraestructura presenta un riesgo y vulnerabilidad alta mientras la de hábitat humano exhibe sensibilidad alta, esto se evidencia claramente en relación a los desastres naturales en el departamento, que son realidades históricamente en aumento, especialmente las inundaciones, por ejemplo, se han reportado 104 eventos más de este fenómeno en los años de 2004 a 2015 respecto al periodo de 1990 a 1993 -ver anexo 5- (IDEAM, 2017a), esta tendencia podría traer problemas futuros en los municipios, debido a que se ha reconocido que las inundaciones hacen migrar a las personas hacia las zonas altas (Altamirano, 2014), es decir, va a significar presiones adicionales y todo lo que conlleva a los municipios del Putumayo Alto; también se ha previsto que el departamento, de no adaptarse al cambio climático, causará que las vías estén cerradas por deslizamientos el 5% del tiempo (DNP, 2016). Por tanto estas últimas dos dimensiones pueden ser abordadas por dos estrategias que se consideran fundamentales en el presente análisis: “Gestión integral del riesgo y desastres” y “Fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres y cambio climático en el departamento”, dichas son especialmente importantes tanto en las estrategias de adaptación y mitigación en el departamento por sus enfoques, ya

que el cambio climático intensifica los fenómenos de riesgo que van a seguir generando cada vez mayores problemas asociados a esto en el departamento, razón por la cual estas dos estrategias se destacan debido su enfoque en dicha problemática.

La estrategia de mitigación se enfoca en robustecer la información, los instrumentos de planificación y las alertas tempranas, lo que permitiría consolidar la toma de decisiones para priorizar las acciones que verdaderamente aborden las distintas problemáticas municipales, por ejemplo, aunque las inundaciones sean cuestión general del departamento, son de mayor importancia para algunos municipios, esto se determina al conocer cada vez con mayor precisión las distintas dinámicas ambientales propias de cada zona, que se logra a partir de la producción de información específica y de calidad. En relación con las alertas tempranas, se lograría mejorar la prevención de desastres reduciendo el peligro de pérdidas humanas e incluso materiales, ya que prevenir con tiempo suficiente permite actuar de manera adecuada.

En cuanto a la estrategia de adaptación, la cual está enmarcada en incluir el cambio climático en la planificación territorial, se enfoca en la restauración y conservación de ecosistemas claves por los servicios de regulación que aportan al departamento. Entre estos, es imperativo la protección de humedales, bosques inundables y los bosques andinos, los cuales cumplen un rol muy importante al evitar o disminuir las amenazas naturales, especialmente inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos (para los bosques andinos). Para lograr esto, es clara la necesidad de reajustar el ordenamiento en el territorio comprendiendo el valor de este tipo de ecosistemas, de manera que las actividades antrópicas que actualmente los impactan dejen de suceder más, pero para ello, es preciso el contar con alternativas a la situación actual, lo que se logra con una correcta gestión del territorio.

10. Conclusiones

La escala o resolución es fundamental en este tipo de investigaciones, ya que al ser un tema tan poco estudiado los resultados pueden variar, en este sentido, se evidencian algunas diferencias de los resultados obtenidos en este trabajo con diferentes estudios pese a que contemplan un periodo de tiempo de 30 años o más las escalas temporales (periodo de años analizados), sin embargo, para la zona del Piedemonte Amazónico se observó una similitud entre esta investigación y los resultados obtenidos por otros autores. Además, las escalas espaciales difieren ya que se evidencio durante el desarrollo de esta investigación, que los estudios que se están realizando de cambio climático por lo general utilizan escalas no específicas por lo que se dificultaría la toma de decisiones a comparación del presente trabajo, ya que al contemplar una escala detallada podría ser un trabajo que sirve para posteriores investigaciones que ayuden a la toma de decisiones en el departamento de Putumayo.

La metodología establecida en esta investigación satisface el desarrollo de la investigación y así mismo, se da cuenta que los resultados de cada uno de los objetivos específicos se cumplen. De igual forma, se evidencia que el método de interpolación IDW se adapta más a esta investigación a comparación del método Kriging debido a que este primero al contemplar los valores medios de los puntos de muestra (estaciones meteorológicas) tiene una mayor facilidad de interpolación a comparación del segundo método que pese a que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados, se debe realizar una investigación más profunda del comportamiento espacial del fenómeno de los valores.

La distribución del cambio climático en la presente investigación da cuenta de la explicación que tuvo este comportamiento a través de una escala temporal de 32 años, comprendido entre la V1 (1988-2003) y la V2 (2004-2019), y espacialmente con una escala específica para los municipios pertenecientes al departamento. Para tal propósito, se analizó el comportamiento de las variables precipitación y temperatura de manera integral a un detalle específico por municipio, agrupándolos según la división de Putumayo Alto, Medio y Bajo con énfasis del Piedemonte Amazónico debido a su importancia en el departamento. Por lo anterior, y con los resultados obtenidos para las dos variables, se establece que el departamento atravesó por un cambio de precipitación y temperatura en todo el departamento, donde algunas zonas tuvieron variaciones más significativas, como en los municipios de Orito, San Miguel, Puerto Leguízamo, San Francisco y Valle del Guamuez que presentaron aumentos significativos de la precipitación respecto al periodo analizado, mientras que Colón y Santiago presentaron una reducción sobre esta variable. Para la temperatura, la variación no fue tan marcada, debido a que tuvo un comportamiento estable para la mayoría de los municipios, sin embargo, San Francisco y Santiago presentaron las máximas variaciones de aumento, igualmente se evidencia una estabilidad para toda la zona del Putumayo Bajo y parte del Medio. Así mismo, se establece que los efectos que puede tener el cambio climático en los componentes territoriales pueden llegar a ser significativos generando así una gran presión sobre estos aunado a la ocurrencia de fenómenos extremos principalmente.

En cuanto a la distribución espaciotemporal del cambio climático en el departamento, se destaca que la zona del Putumayo Alto presentó el comportamiento de precipitación y temperatura más bajo del departamento, de los cuatro municipios pertenecientes a esta zona, en Colón y Santiago disminuyó la precipitación de los años de 1988 a 2003 respecto de los años de 2004 a 2019 mientras que San Francisco y parte de Sibundoy tuvieron tendencias de aumento, aunque no de forma significativa en la distribución espacial. Respecto a la temperatura, San Francisco y Santiago registraron la variación más significativa de aumento del departamento, sin embargo, no significa que esta se vuelva alta en aquellos. En Putumayo Medio, se registró los mayores valores de precipitación especialmente en la zona del Piedemonte Amazónico, lugar donde también se evidenció los incrementos más significativos, sobre todo en los municipios de Orito y San Miguel. Finalmente, en Putumayo Bajo se registró el comportamiento de temperatura más alto del departamento, mostrando a su vez una estabilidad en cuanto a su distribución y tendencia de aumento; mientras para la precipitación se destaca la tendencia de incremento de Valle del Guamuez y la variabilidad de Puerto Leguízamo, que obtuvo el aumento más significativo de todo el departamento, pero que también presentó un decrecimiento en parte del municipio.

El comportamiento espacial y temporal obtenido, es acorde a muchas otras modelaciones realizadas por distintos autores, especialmente en el piedemonte, en donde se identificó en casi todas las referencias, que dicha zona además de tener los mayores valores de lluvia en el departamento, también ha tenido y tendrá los incrementos más significativos, incluso no solo de Putumayo sino del país. Por otro lado, para la zona del Putumayo Alto, en nuestros mismos resultados se obtuvieron dos comportamientos diferentes, aumento y reducción de la precipitación, lo que evidencia la complejidad que hay en la cordillera andina, ya que también entre los autores estudiados no hay claridad del comportamiento tendencial y futuro de las lluvias en la región Andina. Respecto a la parte baja del departamento es difícil encontrar referentes concretos, dada la poca densidad de estaciones en la zona, lo que conlleva a varios autores a no modelar con precisión dicha región o incluso omitirla de sus análisis. Respecto a la temperatura, ocurre la misma situación en el presente trabajo y en todas las referencias analizadas, espacialmente es muy homogénea y depende de la altura siendo su tendencia claramente de aumento. Finalmente, es claro recalcar la marcada incidencia de la orografía para ambas variables, y aunque es muy discutido la correlación directa entre lluvia y altura, es claro que, para el caso del Putumayo, debido a las dinámicas entre la zona

montañosa de los Andes y la humedad propia del Amazonas, ocurra un comportamiento de lluvia en el que la altura podría incidir, no obstante, es una situación que debería seguir siendo estudiada más a fondo.

El método de Gradiente de la Temperatura puede generar resultados confiables, sin embargo, como en el caso de la presente investigación al relacionar la altitud con la temperatura, se encuentran resultados iguales en varias zonas del departamento, por lo que la estabilidad de la temperatura obtenida puede estar influida por esto, aunque es importante recalcar, que en la mayoría de estudios sobre el tema en el país, evidencian también comportamientos homogéneos cuando el relieve es uniforme.

En cuanto a los efectos territoriales del cambio climático sobre los componentes de población, salud, agua, coberturas y ecosistemas y biodiversidad, se establece que la variación tanto de la precipitación, como de la temperatura puede generar posibles afectaciones en todos los componentes. Para la población se refleja principalmente en los efectos que sufren las personas por desastres ambientales, intensificados por el cambio climático, dichos impactos en su nivel más grave derivan en migraciones, por tal, se encontró que los municipios que tuvieron las variaciones más significativas de los parámetros analizados, fueron los mismos en los que ocurrió decrecimiento poblacional, a pesar del aumento general en el departamento, lo que puede ser una muestra de la influencia de factores climáticos en las dinámicas poblacionales. Sin embargo, ante la ausencia de un registro claro de movimientos por motivos ambientales en el país y comprendiendo la situación histórica de la violencia, se limita la certeza que puede haber en el tema. En el caso de la salud, el mayor riesgo está asociado al aumento de las enfermedades asociadas a transmisión por vectores en zonas endémicas y la posible aparición en zonas no endémicas, teniendo la mayor probabilidad en el Putumayo Medio debido a las altas precipitaciones y temperaturas, seguido del Putumayo Alto y finalmente el Bajo.

En el componente del agua, se ve reflejado una fuerte presión producto de las actividades antrópicas sobre ecosistemas estratégicos como los ubicados en el Valle de Sibundoy, el cual cuenta con una interacción entre los ecosistemas de humedales, los páramos de Bordoncillo y Cascabel y la influencia de la cuenca alta del Río Putumayo, sin embargo, con estas presiones y la variación de la temperatura, que junto a la disminución de precipitación en la zona alta, podría generar un desbalance de estas interacciones del recurso hídrico, afectando también a los demás humedales localizados en zonas del Putumayo Medio y los asociados al PNN La Paya. Igualmente, la alta pluviosidad junto a su dinámica de incremento, especialmente en el Piedemonte, se asocia con zonas muy susceptibles a inundaciones.

Para el componente de coberturas, no se estableció incidencia directa del cambio climático sobre este, como sí ocurre en otras partes del país y el mundo con el incremento de incendios forestales, sin embargo, si queda evidenciado la pérdida de bosque asociado a la deforestación por distintas causas. Igualmente se analiza que dicha pérdida, con apoyo de imágenes satelitales y en relación a los resultados obtenidos de las variables analizadas, puede tener una influencia en la variación de estas de manera local.

Respecto a los ecosistemas y biodiversidad se resalta que la mayor afectación está dispuesta sobre la pérdida ecosistémica y de especies, en su mayoría por las fuertes interacciones sociales, ya que el Putumayo al poseer ecosistemas de gran valor ecológico que ofrecen servicios ecosistémicos fundamentales, resulta en que la población se organice en torno a este, modificando sus dinámicas, sumado a la variación de la temperatura y precipitación que pueden generar a su vez desbalance ecosistémico, con mayor énfasis en zona del Piedemonte Amazónico. También se determina que de continuar las tendencias encontradas, a futuro, la biodiversidad se verá muy afectada por la movilización de especies que buscan su nicho climático con principal impacto en Putumayo Bajo, del mismo modo el

departamento se vería afectado por el incremento de riesgo en relación a especies invasoras especialmente en el piedemonte, y finalmente por la afectación de biomas y todo lo que lo componen lo cual sería generalizado en todo el departamento.

Las posibles sugerencias de las estrategias de adaptación surgen de los resultados obtenidos de los efectos territoriales del cambio climático y la articulación y adaptación de las estrategias propuestas tanto en la Política Nacional de Cambio Climático como de la TCNCC. En este sentido, se establecieron estrategias basadas en ecosistemas (AbE) por integrar el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, generando beneficios sociales, económicos, culturales y contribuyendo con la conservación de la diversidad biológica, debido a que como se evidenció en los resultados, este departamento cuenta con ecosistemas estratégicos para la mitigación y adaptación del cambio climático por su gran importancia ecológica y ubicación estratégica en dos regiones (Andina y Amazónica). Se resalta según lo investigado que las estrategias encontradas, tanto de adaptación como de mitigación, son propuestas a un orden nacional más no departamental, ni muchos menos municipal, adicionalmente, el departamento no tiene evidenciado estrategias por parte de entidades como CORPOAMAZONIA, IDEAM o la Gobernación, siendo claro que lo existentes no tienen el suficiente nivel de detalle para proponer soluciones acordes a la situación departamental y municipal, recalcando que por ejemplo, Putumayo en el año 2019 se encontraba en proceso de formulación del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático y hasta la fecha no se ha evidenciado resultados sobre dicho plan.

Se destaca que, en la TCNCC, el departamento está entre los puestos más alarmantes frente al riesgo, amenaza, sensibilidad y vulnerabilidad por cambio climático y así mismo, es de los peores respecto a capacidad adaptativa. Por todo lo anterior, es clara la necesidad de sugerir estrategias que puedan ser una fuente de apoyo para investigaciones y toma de decisiones sobre mitigación y adaptación al cambio climático, como las propuestas en esta investigación, que se ajustan a la realidad encontrada respecto al comportamiento climático y sus efectos territoriales, en este sentido, las estrategias se realizan encaminadas con la AbE tratando de generar una articulación entre biodiversidad-servicios ecosistémicos-ecosistemas y comunidades, para así lograr beneficios de distinta índole en el departamento mientras se aborda el cambio climático.

11. Recomendaciones

A partir de la metodología, se estableció que las actividades relacionadas con el proceso, filtro y síntesis de la información de los datos de las estaciones meteorológicas constituyen una posible dificultad para la investigación -y posibles investigaciones- ya que, al presentarse ausencia significativa de datos, se limita los registros históricos de las variables seleccionadas, por ende, la manipulación de los datos debe ser muy certera para poder tener resultados veraces. No obstante, se establece una metodología clara y con fundamentos teóricos, por lo que los resultados fueron certeros, además, se contó con la integración holística de registros de comportamientos climáticos ocurridos en el país, para contrastar mejor la información en las variables de precipitación y temperatura, generando así resultados muy aproximados con los grandes entes en materia de cambio climático, pese a que la información dispuesta de estos se encuentra a una escala nacional sumado a la diferencia temporal entre las investigaciones.

Una de las mayores limitantes fue el número de estaciones finalmente analizadas, al ser estas las que determinan la calidad de la información. De las 75 estaciones existentes en el departamento, sólo 40 están activas y tan solo 25 estaciones pudieron ser usadas en el presente proyecto, lo que deja en evidencia las

carencias relacionadas a la información del clima a nivel departamental, no obstante, se resalta que, comparado a otros estudios, se usó un número mucho mayor de estaciones. Igualmente, el análisis se dificulta debido a que no se pudo contar con todas las variables propuestas inicialmente, en consecuencia, de las grandes brechas de datos que había en evaporación y brillo solar, motivo por el cual solo se seleccionaron las variables de precipitación y temperatura, las cuales cumplían con el filtro establecido.

La ausencia de información de años consecutivos suministrada por el IDEAM es una posible limitante por lo que es importante en el proceso de completar datos de las estaciones meteorológicas, apoyarse en informes, estudios, notas técnicas y registros históricos en relación a eventos de sequías y lluvias extremas, ya que de esta forma se corrobora la veracidad de los registros completados respecto a los meses y años con ausencia de información, con la finalidad que los datos sean más ajustados a la realidad.

Es necesario que el departamento aproveche la infraestructura existente de la red meteorológica, ya que existen 75 estaciones, pero sólo 40 están activas, adicionalmente, de estas, muchas presentan brechas de información. Igualmente, debería existir al menos una estación por municipio, por ejemplo, Sibundoy y Valle del Guamuez no cuentan con una propiamente, además hay amplias zonas que no tienen estaciones que midan variables tan importantes como la temperatura, brillo solar, evaporación y otros, como ocurre en el sur del piedemonte y gran parte el Putumayo Bajo.

durante el transcurso del desarrollo de la investigación no se encontraron parámetros específicos para tal fin, y, aunque las publicaciones o informes técnicos cuenten con metodologías, estas son de orden nacional además de no ser una guía propiamente que se pueda adaptar a las condiciones propias de información.

Es prioritario prestar atención a las zonas con mayor precipitación y que a su vez tengan tendencias de aumento significativos, como el caso Orito, Valle del Guamuez y San Miguel y la parte sur de Mocoa que limita con Villagarzón y Puerto Guzmán, debido al mayor riesgo de inundaciones, avalanchas o remociones en masa que se pueden generar, con el fin de evitar tragedias similares a la ocurrida en 2017 en Mocoa.

Es importante continuar con la construcción de investigaciones de este tipo de carácter científico, que contribuye a la construcción de posibles proyectos que puedan generar un mejor análisis en la toma de decisiones a escalas locales y que a su vez sirvan de base para la producción de más estudios en otros departamentos de Colombia.

Es relevante, además del aporte a otras investigaciones, presentar este proyecto de grado a distintas entidades que lo puedan usar como insumo en el desarrollo de proyectos u otros estudios relevantes para el departamento.

12. Referencias Bibliográficas.

- Alarcón, H. J. (2017) *El cambio climático como factor transformador del territorio* [tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <http://bdigital.unal.edu.co/58092/1/79558538.2017.pdf>
- Altamirano Rúa, T. (2014) *Refugiados ambientales: cambio climático y migración forzada*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r37751.pdf>
- Álvarez, A. (2011). Metodología de la investigación Cuantitativa y Cualitativa. Universidad Surcolombiana, 117-119. Recuperado el 24 de septiembre de 2019, <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- ANDI. (2019). Biodiversidad y Desarrollo. Más País. Biodiversidad y desarrollo por el Putumayo. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20Putumayo%202017%20-%202018.pdf>
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., Ruiz, J. (2012) Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente. Subdirección de Meteorología – IDEAM. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Cambio+Climatico+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/fe5d64fb-3a82-4909-a861-7b783d0691cb>
- Báez, C. (2015). ¿Adaptación al Cambio Climático? Diálogos y estrategias entre lo global y lo local: Banco Mundial y Pueblos Indígenas, Putumayo – Colombia. pp,44-56. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/51419/7/TESIS%20LUISA%20FERNANDA%20CANTOR%20BAEZ.pdf>
- Buzai, G. (2016). Análisis espacial con sistemas de información geográfica: Sus cinco conceptos fundamentales. En Buzai, G (Ed.) *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. GESIG. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/298420203_Analisis_Espacial_con_Sistemas_de_Informacion_Geografica_Sus_cinco_conceptos_fundamentales
- Buzai, G., Baxendale, C. (2010). Análisis espacial con sistema de información geográfica. Aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial. Recuperado de: http://faces.unah.edu.hn/decanato/images/stories/PDF/Revista_Congreso_Vol1/analisis_espacial_sig.pdf
- Caldera, S., Escobar E., y Ortega, V. (2012). Cambio climático como factor determinante de desnutrición en niños de 0-5 años de edad. Recuperado de: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/159>

- Campana, L., González, J., Soto, M., Pérez, A. (2012). Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. *Revista Colombiana de Geografía*, 21(01). Recuperado el 11 de septiembre de 2019: https://www.researchgate.net/publication/327707768_Repercusiones_del_cambio_climatico_global_en_el_estado_de_Sinaloa_Mexico
- CMNUCC (2015). Measurements for Estimation of Carbon Stocks in Afforestation and Reforestation Project Activities under the Clean Development Mechanism: A Field Manual. Recuperado el 22 de septiembre de 2019, unfccc.int/resource/docs/publications/cdm_afforestation_field-manual_web.pdf
- Comisión Regional de Competitividad. (2016). Actualización del Plan Regional de Competitividad del Putumayo. Recuperado el 21 de septiembre de 2019, <http://www.competitivas.gov.co/sites/default/files/documentos/putumayo.pdf>
- Contraloría General de la República (2020) *Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente (IERNA) 2019 – 2020*. Recuperado de: <https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/1853952/Informe+sobre+el+estado+de+los+recursos+naturales+y+del+ambiente+2019.pdf/03431adc-e4c6-4097-85f2-117bb5afc3ef>
- CORPOAMAZONIA (2019). Acerca de la Entidad. Recuperado de: <http://www.corpoamazonia.gov.co/index.php/acerca-de-la-entidad/objetivos-y-funciones>
- CORPOAMAZONIA (2014). *Determinantes y asuntos ambientales para el ordenamiento territorial en el departamento del Putumayo*. Recuperado de: https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/Determinantes/Determinantes_Putumayo.pdf
- CORPOAMAZONIA. (2006) Plan de Manejo Ambiental de los Humedales de la parte Plana del Valle de Sibundoy. Recuperado de: https://www.corpoamazonia.gov.co/images/Publicaciones/30%202006_PMA_Humedales_Valle_Sibundoy/2006_PMA_humedales_Valle_de_sibundoy.pdf
- CORPOAMAZONIA., WWF., CONVENIO ANDRÉS BELLO., ASOCIACIÓN AMPORÁ. (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo. Recuperado de: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/22579?show=full>
- DANE (2005) *Censo General 2005. Nivel Nacional*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/files/censos/libroCenso2005nacional.pdf>
- DANE (2018) *Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018. Estimaciones de población ajustada por cobertura censal*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-Poblacion-Ajustada-por-Cobertura.xls>

DANE, IGAC, IDEAM (2011) *Reporte final de áreas afectadas por inundaciones 2010 – 2011*. [Presentación] Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/noticias/Reunidos_presentacion_final_areas.pdf

Dolores de la Mata, M; Amaya, V. (2014). The Health Impacts of Severe Climate Shocks in Colombia. Universidad del Rosario. *Inter-American Development Bank*, pp, 4-17. Recuperado de: <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/idb15012015-5.pdf>

DNP (2016) Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país. [Presentación]. Obtenido de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/2016-02-18%20Presentaci%C3%B3n%20Putumayo.pdf>

DNP, DANE, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Salud y Protección Social, Fondo de Población de las Naciones Unidas (2018) *Análisis de Situación de Población ASP Colombia*. Recuperado de: https://colombia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/ASPCOLOMBIA_GEN_web_4.pdf

Echeverri, J. (2010). cambio climático como política, naturaleza y sociedad en la Amazonia colombiana. En G. Palacio (Ed.), *Ecología Política de la Amazonia: Las profusas y difusas redes de la gobernanza* (pp. 146 - 162). Bogotá: ILSA, Universidad Nacional de Colombia y Ecofondo.

Escoda, A. (2004). Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España. Recuperado de: <http://zucaina.net/Publicaciones/barrera-dea.pdf>

ESRI (2013). Comprender el análisis de interpolación. Recuperado de: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009z0000006w000000>

ESRI (2020). IDW. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/idw.htm>

Forero, L., Castillo, J., y Castillo, C. (2018). Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamo, Putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 286-300. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.70441. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v27n2/0121-215X-rcdg-27-02-00286.pdf>

Fundación Ideas para la Paz, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, OIM (2014) *Conflicto armado en Caquetá y Putumayo y su impacto humanitario*. Área de Dinámicas del Conflicto y Negociaciones de Paz. Unidad de análisis ‘siguiendo el conflicto’- boletín #73. Recuperado de: <http://cdn.ideaspaz.org/media/website/document/5445281ad0a0f.pdf>

Fundación Paz & Reconciliación, Fundación Redprodepaz (2014) *Departamento de Putumayo*. Tercera Monografía. Recuperado de: <https://pares.com.co/wp->

content/uploads/2018/06/INFORME-PUTUMAYO-REDPRODEPAZ-Y-PAZ-Y-RECONCILIACI%C3%93N.pdf

- Galbraith, D., Levy, P. E., Sitch, S., Huntingford, C., Cox, P., Williams, M., & Meir, P. (2010) Multiple mechanisms of Amazonian forest biomass losses in three dynamic global vegetation models under climate change, *New Phytol.*, 187, 647–665
- GIZ. (2017). *Movilidad humana, desastres naturales y cambio climático en América Latina. De la comprensión a la acción*. Sociedad Alemana de Cooperación Internacional. Recuperado de: <https://environmentalmigration.iom.int/sites/default/files/publications/MOVILIDAD%20Y%20DESASTRES%20FIN%20V4.pdf>
- Gobernación de Putumayo (2017). Acerca de la entidad. Objetivos y Funciones. Recuperado de: <https://www.putumayo.gov.co/gobernacion/acerca-de-la-entidad/objetivo-y-funciones.html>
- Gobernación de Putumayo (2016) Plan de desarrollo departamental 2016 - 2019. Putumayo Territorio de Paz biodiverso y ancestral. Juntos podemos transformar. https://www.putumayo.gov.co/images/documentos/planes_y_programas/ordeN_726_16.pdf
- Gómez, J. & Cadena M. (2017) Actualización de las estadísticas de la sequía en Colombia. Nota técnica, IDEAM. Obtenido de: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/69501251/NOTA+TECNICA_SEQUIA_2017.pdf/d47113b3-536b-4c83-a69c-22f97993016f?version=1.0
- Gonzaga, J., y Hernández, V. (Ed). (2014). Cambio climático y desplazamiento ambiental forzado: estudio de caso en la ecorregión eje cafetero en Colombia. Armenia, CO: Editorial Universitaria, Universidad La Gran Colombia. Recuperado de: https://www.ugc.edu.co/sede/armenia/files/editorial/cambio_climatico_desplazamiento_ambiental.pdf
- Hernández, D. (2019). *Caracterización de la vegetación de relictos de bosques del piedemonte amazónico en los departamentos de Caquetá y Putumayo (Colombia)*. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22194/1/Tesis.pdf>
- Hurtado Montoya, A (2009) *Estimación de los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio colombiano*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Institucional UN. <http://bdigital.unal.edu.co/2305/1/71364267.2009.pdf>
- Hurtado Montoya, A., & Mesa Sánchez. O. (2014). Reconstrucción de los campos de precipitación mensual en Colombia. *DYNA*, 81(186), 251-258. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.40419>

- Hurtado Montoya, A., & Mesa Sánchez. O. (2015) Cambio climático y variabilidad espacio – temporal de la precipitación en Colombia. *Revista EIA*, 12(24), 131-150. doi: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.24.131-150>
- IDEAM (2010) Zonas Susceptibles de Inundación 500k 2010. [Archivo Shapefile]. Obtenido de: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- IDEAM (2014a). Acerca de la institución. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>
- IDEAM (2014b). Atlas climatológico de Colombia 1981-2010. Recuperado de: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf
- IDEAM (2014c). Atlas climatológico de Colombia 1981-2010. Recuperado de: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Tmax_anual.pdf
- IDEAM (2018a) Estudio Nacional del Agua. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf
- IDEAM (2018b) *Estadísticas sobre incendios*. Ecosistemas. IDEAM. ideam.gov.co/web/ecosistemas/estadisticas-incendios?p_p_id=110_INSTANCE_Xyglx80CsJIT&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 pp
- IDEAM, Ministerio de Ambiente (2016). *Lanzamiento cifras de deforestación anual 2015*. <http://proyectos.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Presentaci%C3%B3n%20Tasa%20Deforestacion%20IDEAM.pdf>
- IDEAM, Ministerio de Ambiente (2017) *Actualización cifras de monitoreo de bosques 2016*. Estrategia integral de control de la deforestación. <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/0/Presentaci%97n+Estrategia+Integral+de+Control+a+la+Deforestaci%97n/173f79bf-3e68-4cbc-9387-80123d09b5e2>
- IDEAM, Ministerio de Ambiente (2018) *Resultados monitoreo de la deforestación 2017*. http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72115631/Actualizacion_cifras2017+FINAL.pdf/40bc4bb3-370c-4639-91ee-e4c6cea97a07

- IDEAM, Ministerio de Ambiente (2019) *Resultados monitoreo de la deforestación 2018*.
[http://www.ideam.gov.co/documents/24277/91213793/Actualizacion cifras2018FINALDEFORRESTACION.pdf/80b719d7-1bf6-4858-8fd3-b5ce192a2fdc](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/91213793/Actualizacion_cifras2018FINALDEFORRESTACION.pdf/80b719d7-1bf6-4858-8fd3-b5ce192a2fdc)
- IDEAM, Ministerio de Ambiente (2020) *Resultados de monitoreo deforestación 2019*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/105413996/presentacionbalancedeforestacion2019/7c9323fc-d0a1-4c95-b1a1-1892b162c067>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2015a) *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 4. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015b) *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Nivel Nacional – Departamental*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 4. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015C). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Nivel Nacional – Regional*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 4. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería (2016a) *Conocer: El primer paso para adaptarse. Guía básica de conceptos sobre el cambio climático*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 6. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería (2016b) *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 2. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería (2017a). *Análisis de la vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Capítulo 4. [CD-ROM] Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería (2017b). *Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. [CD-ROM] Bogotá D.C
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería (2017c). Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC).
 Obtenido de:
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_CMNUCC_2017_2.pdf

- IDEAM, UNAL (2018) *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia*. Bogotá, D.C. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- IDMC (2019) *2019 Global report on internal displacement* [Informe global sobre desplazamiento interno 2019] Observatorio de Desplazamiento Interno. Recuperado de: <https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/2019-IDMC-GRID.pdf>.
- IDMC (2020a) *2020 Global report on internal displacement* [Informe global sobre desplazamiento interno 2020] Observatorio de Desplazamiento Interno. Recuperado de: <https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/2020-IDMC-GRID.pdf>.
- IDMC (2020b) *Colombia*. IDMC - Internal displacement monitoring centre. Recuperado de: <https://www.internal-displacement.org/countries/colombia>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014) *Biodiversidad 2014. Estado y tendencias de la biodiversidad continental en Colombia*. Bogotá D.C, Colombia.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2020) *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental en Colombia*. Bogotá D.C, Colombia.
- IPCC, (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribución del Grupo de Trabajo II con el Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC/ WMO/UNEP. Recuperado de: Marco de políticas de adaptación al cambio climático, glosario.
- IPCC (2013a) *CLIMATE CHANGE 2013. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions*. Recuperado el 22 de septiembre 2019, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf
- IPCC (2013b). *Glosario*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribución del Grupo de Trabajo III con el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Capítulo introductorio.
- IPCC (2014b) *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Recuperado de: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es.pdf
- IPCC (2014c) *Central and South America*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. Chapter 27, pp 1499 - 1566. [ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf)

IPCC (2019a) ¿Qué es el IPCC?. Recuperado el 13 de septiembre de 2019, https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

IPCC (2019b) Reports. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/>

Levy, K; Smith, S; Carlton, E. (2018). Climate Change Impacts on Waterborne Diseases: Moving Toward Designing Interventions. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6119235/>

Mayorga M. y Hurtado (2006) La sequía en Colombia. Documento técnico de respaldo a la información en la página web del ideam. Nota técnica, IDEAM. Obtenido de: <http://www.cambioclimatico.gov.co/documents/21021/21147/NotaT%C3%A9cnicaSequia.pdf/d9ba4965-f7cd-4a2f-a875-2a38b1d6a941>

Mayorga, R., Hurtado, G., y Benavides, H., (2011) *Evidencias del cambio climático con base en información estadística*. Nota técnica. IDEAM. Obtenido de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022451/ACTUALIZNotaTecnicaRCLi mdexColombiaFINAL.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015) Gobierno Nacional revela aumento del 16% en tasa de Deforestación en Colombia 2014. *Noticias Minambiente*. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2131-gobierno-nacional-revela-aumento-del-16-en-tasa-de-deforestacion-en-colombia-2014>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM, Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres. (2016). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/476-plantilla-cambio-climatico-%2032>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Política Nacional de Cambio Climático. Obtenido de: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Politica_Nacional_de_Cambio_Climatico_-_PNCC_/PNCC_PoliticasyPublicas_LIBRO_Final_Web_01.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Directrices para la gestión del Cambio Climático. Obtenido de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ley-de-cambio-climatico#ley-de-cambio-clim%C3%A1tico-1931-2018>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). AbE, Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/ABE_/MADS_Guia_AbE_LIBRO_Digital-Cambio.pdf

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019a). Historia de Colombia Frente al Cambio Climático. Recuperado el 18 de septiembre de 2019, <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/460-plantilla-cambio-climatico-16>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019b). Objetivos y funciones. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Mitigación. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigaci>
- Montealegre Bocanegra, J. (2007) Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. IDEAM. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>
- Mora, L., Andrade, G. (2019). Construcción de vulnerabilidad en humedales altoandinos integrados con sistemas ganaderos. Evidencia a través de un modelo socioecológico de cambio. Biodiversidad en la práctica Documentos de trabajo del Instituto Humboldt, 4(01), 1-28. Recuperado de: <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/662/558>
- Moreno, M; Vélez, R. (2005). Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. Recuperado de: <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion4.pdf>
- Moreno, M., Hidalgo, H., Alfaro, E. (2019). CAMBIO CLIMÁTICO Y SU POSIBLE EFECTO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN DOS PARQUES NACIONALES DE COSTA RICA. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 30(1): 16-38. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/revibec/revibec_a2019v30/revibec_a2019v30p16.pdf
- OMM (2018) *Guía de prácticas climatológicas*. Organización Meteorológica Mundial. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027
- OMS. (2016). Género, cambio climático y salud. Recuperado de: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204178/9789243508184_spa.pdf;jsessionid=5119D88A8BF087B9FB9F3955A768CD11?sequence=1
- Organización Internacional para las Migraciones (2017) *Migraciones, ambiente y cambio climático. Estudios de caso en América del Sur*. Cuadernos Migratorios N° 8. Recuperado de: https://publications.iom.int/system/files/pdf/migraciones_ambiente_y_cambio_climatico_estudio_de_casos_en_america_del_sur_0.pdf
- Orjuela, L., Herrera, M., Erazo H., y Quiñones, M. (2013). Especies de Anopheles presentes en el departamento del Putumayo y su infección natural con Plasmodium. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v33n1/v33n1a06.pdf>

- Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Rev. Cienc. Agr.* 33(2):117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Ortiz, A., Cruz, S. (2007) Monografía Político Electoral DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO). 1997 a 2007. Recuperado de: https://moe.org.co/home/doc/moe_mre/CD/PDF/putumayo.pdf
- Pabón Caicedo, J. (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. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082012000200010&lng=en&tlng=es.
- Pacheco, F; Villamizar, M y Álvarez, L. (2019). Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. Recuperado de: <http://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/03/1051514/28-efectos-del-cambio-climatico-en-la-salud-de-la-poblacion.pdf>
- Phillips J.F., Duque A.J., Yepes A.P., Cabrera K.R., García M.C., Navarrete D.A., Álvarez E., Cárdenas D. (2011a). Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Estratificación, alometría y métodos analíticos. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales -IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 68 pp.
- Phillips J.F., Duque A.J., Cabrera K.R., Yepes A.P., Navarrete D.A., García M.C., Álvarez E., Cabrera E., Cárdenas D., Galindo G., Ordóñez M.F., Rodríguez M.L., Vargas D.M. (2011b). Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 32 pp
- Ramírez, C., Castellanos, D. (2007). Conservación de la diversidad biológica y cultural. Recuperado de: https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Planes/biodiversidad/diagnostico/AMAZONIA_C5.pdf
- Rowland, L., Harper, A., Christoffersen, B. O., Galbraith, D. R., Imbuzeiro, H. M. A., Powell, T. L., Williams, M. (2015). Modelling climate change responses in tropical forests: Similar productivity estimates across five models, but different mechanisms and responses. *Geoscientific Model Development*, 8(4), 1097-1110
- Roriz, P. A., Costa, Yanai, A. M., & Fearnside, P. M. (2017). Deforestation and carbon loss in southwest amazonia: Impact of brazil's revised forest code. *Environmental Management*, 60(3), 367-382.
- Ruiz, F., Martínez M.C. (2007). Report on Activities Performed in MRI-Japan to Simulate Climate in Colombia and the A1B Scenario with the Japanese Model using a Resolution of 20 x 20 Km.

- Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 30, pp. 43-59. Obtenido de: https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/PublicacionesDMA/2007/SDWP_Future_Climate.pdf
- Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. Recuperado el 21 de septiembre de 2019, <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- SINCHI, PNN, ANDI, CORPOAMAZONIA, Instituto Humboldt, Amerisur, GranTierra Energy, Ecopetrol (2018) Balance 2017-2018 Acuerdo: Biodiversidad y Desarrollo, por el Putumayo. Obtenido de: [http://www.andi.com.co/Uploads/-Informe%20\(2017-2018\).%20Biodiversidad%20y%20Desarrollo-%20Putumayo-.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/-Informe%20(2017-2018).%20Biodiversidad%20y%20Desarrollo-%20Putumayo-.pdf)
- SINCHI (2002-2018) Áreas de coberturas de la tierra según condición en el Departamento del PUTUMAYO. SIMCOBA. Consultado el 28 de septiembre de 2020 en <https://sinchi.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/79fed8aef7cb4bb7afb6b939ffb0692>
- SINCHI (2011) *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi., 226 p. [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Monitoreo%20de%20coberturas-completo%20\(4\)%20\(1\).pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Monitoreo%20de%20coberturas-completo%20(4)%20(1).pdf)
- SINCHI (2014) *Cambio de uso del suelo: Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales 2002 al 2012, con énfasis en el periodo 2007-2012*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". 144 p. <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/MONITOREO%20web.pdf>.
- SINCHI (2016) *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el periodo 2012 al 2014 y coberturas del año 2014*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI" http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=b0d68dce-3bb1-494e-ac3b-1b90e71d3014&groupId=762
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (2017) Ecosistemas generales de Colombia. [Archivo ShapeFile]. Obtenido de Catálogo de mapas Geovisor SIAC. <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- Tiria Laura, Bonilla Julián, Bonilla César (2018) Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguízamo, Putumayo

(Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 286-300. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.70441

UNESCO. (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es>

UNGRD, IDEAM, MADS, Cancillería, UNCCD (2018) Estrategia nacional para la gestión integral de la sequía en Colombia. Obtenido de: https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/ENGIS%2520para%2520publicaci%25C3%25B3n_Colombia.pdf

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres., Pontificia Universidad Javeriana. (2018). Diagnóstico socioterritorial de las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas la Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa - Putumayo. Recuperado de: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/27207/Productos_Mocoa3_Diagn%C3%B3stico_Socioterritorial.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Unidad para las Víctimas (2020) *RNI - Red Nacional de Información*. Cifras Unidad Víctimas. Fecha de corte: 1 de enero de 2020. <https://cifras.unidadvictimas.gov.co/Home/Desplazamiento>

Universidad El Bosque (2019). Alma Mater. Recuperado de: <https://unbosque.edu.co/nuestro-bosque/alma-mater>

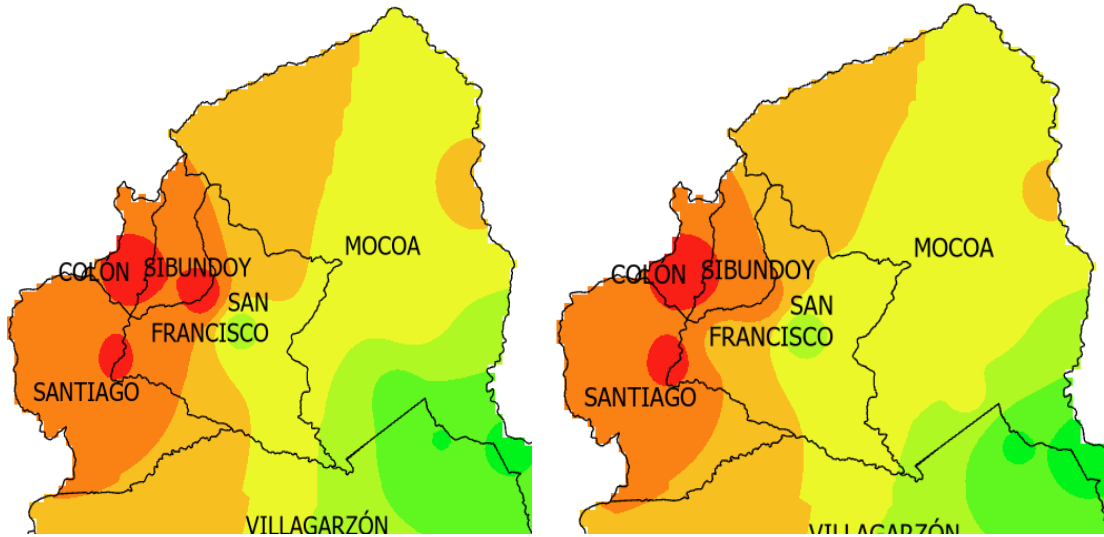
13. Anexos

Código	Nombre	Corriente	Tipo estación	MCPID -AO - AH - ZH -SZH	Fecha Inst	Latitud	Longitud	Altitud (m. s.n.m)
44015060	Acueducto Mocoa	Río Mocoa	Climática principal automática con telemetría	Mocoa - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	1/01/1982	1,1573333	-76,65183	650
47030010	Angosturas	Río Putumayo	Pluviométrica convencional	Puerto Asís - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río Putumayo medio	15/04/1981	0,3954167	-76,33614	200
47010020	Balsayaco	Río San Pedro	Pluviográfica convencional	Santiago - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/03/1959	1,1178889	-76,98128	2100
44010030	Campucana	Río Mocoa	Pluviométrica convencional	Mocoa - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	15/11/1977	1,2025	-76,68083	200
47010150	Carrizal	Río Negro	Pluviométrica convencional	Santiago - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/05/1968	1,13675	-77,03731	2300
47010050	Chungacaspi	Río San Fransico	Pluviométrica convencional	San Francisco - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/05/1971	1,1340556	-76,93025	2100
47020020	Churuyaco	Río Churruyaco	Pluviométrica convencional	Orito - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río San Miguel	15/04/1981	0,4769722	-77,09972	500
47030020	Concepción	Río Putumayo	Pluviométrica convencional	Puerto Leguizamó - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río Putumayo medio	15/08/1983	0,0469444	-75,62972	195
44010090	Condagua	Río Caquetá	Pluviométrica convencional	Mocoa - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	15/04/1981	1,2805	-76,58419	500
47017170	El Picudo	Río Guamuez	Pluviométrica convencional	Orito - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	14/11/1985	0,4897222	-76,83628	385
44015070	El Pepino	Río Pepino	Climática principal Automática con telemetría	Mocoa - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caqueta	1/01/1970	1,0828889	-76,66711	760
47015040	Michoacan	Río San Pedro	Climática ordinaria convencional	Colón - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/01/1977	1,1982778	-76,96097	2100
44010040	Minchoy	Río Mocoa	Pluviográfica convencional	San Francisco - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	15/11/1977	1,2021111	-76,81708	2300
47010030	Puerto Asís	Río Putumayo	Pluviométrica convencional	Puerto Asís - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/06/1959	0,4736111	-76,48022	260

47010110	Puerto Caicedo	Quebrada El Achote	Pluviométrica convencional	Puerto Caicedo - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/10/1978	0,6859167	-76,60517	300
47045010	Puerto Leguízamo	Río Putumayo	Climática ordinaria convencional	Puerto Leguízamo - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río Putumayo directos	15/11/1973	-0,180611	-74,77628	147
44010110	Puerto Limón	Río Caquetá	Pluviométrica convencional	Mocoa - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	15/09/1984	1,0268056	-76,54153	430
47035020	Puerto Ospina	Río Putumayo	Climática ordinaria convencional	Puerto Leguízamo - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río Putumayo medio	15/05/1986	0,1328611	-75,85111	190
47015070	Puerto Umbria	Río Guineo	Climática ordinaria convencional	Villagarzón - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	14/04/1983	0,8389722	-76,57044	362
47010090	San Francisco	Río San Francisco	Pluviométrica convencional	San Francisco - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/09/1973	1,1789444	-76,88339	2140
47030030	San Joaquín	Río Putumayo	Pluviométrica convencional	Puerto Leguízamo - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río Putumayo medio	15/03/1986	0,3381111	-76,07825	195
47020010	San Miguel	Río San Miguel	Pluviométrica convencional	San Miguel - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Río San Miguel	15/03/1986	0,2792778	-76,92725	195
44010080	Santa Lucía	Quebrada Santa Lucía	Pluviométrica convencional	Puerto Guzmán - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Caquetá - Alto Caquetá	15/04/1981	0,9615556	-76,44136	500
47010180	Torre TV San Francisco	Río Blanco	Pluviométrica convencional	San Francisco - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Río Putumayo alto	15/01/1979	1,1454167	-76,845	3000
44015010	Villagarzón	Río Nabayaco	Agrometeorológica convencional	Villagarzón - Area operativa 07 Nariño, Putumayo - Amazonas - Putumayo - Alto Río Putumayo	15/08/1964	1,03425	-76,61925	440

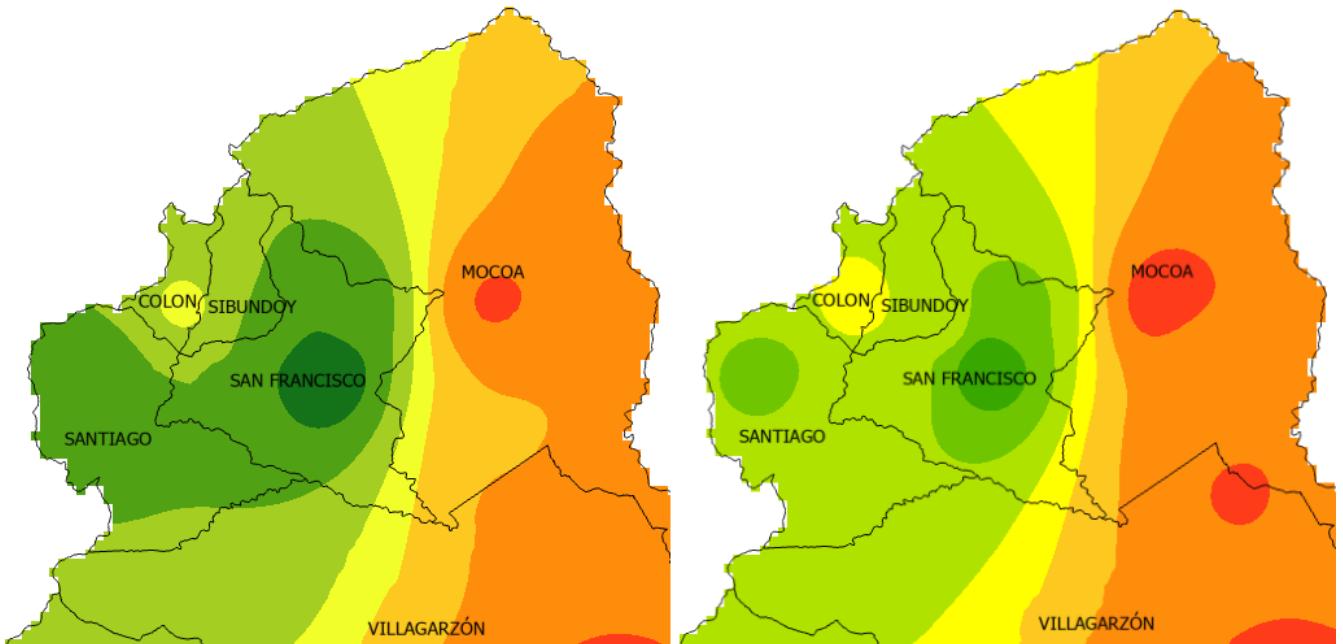
Anexo 1. Información completa de las estaciones meteorológicas. MCPIO (Municipio), AO (Área Operativa), AH (Área Hidrográfica), ZH (Zona Hidrográfica), SZH (Subzona Hidrográfica).

Fuente: Información del Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM.



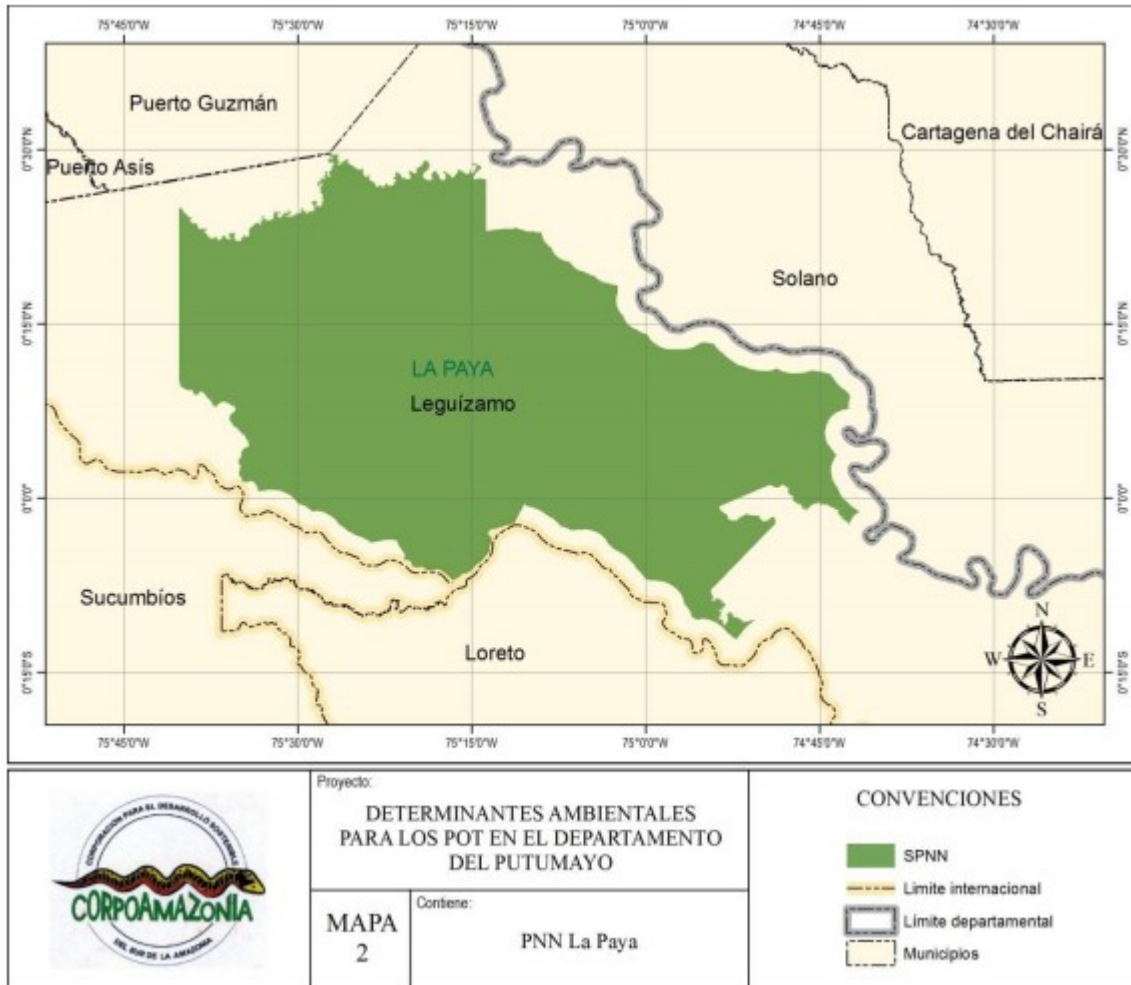
Anexo 2. Acercamiento de la zona del Putumayo Alto. Izquierda: Precipitación de la V1, Derecha: Precipitación de la V2

Fuentes: Autores (2020)



Anexo 3. Acercamiento de la zona del Putumayo Alto. Izquierda: Temperatura de la V1, Derecha: Temperatura de la V2

Fuente: Autores (2020)



Anexo 4. Ubicación del Parque Nacional Natural La Paya, Putumayo
 Fuente: CORPOAMAZONIA, 2014

Año	AVENIDA TORRENCIAL	CRECIENTE SUBITA	DESIZAMIENTO	INCENDIO FORESTAL	INUNDACION	VENDAVAL
1990					1	
1991			1			
1994			1		1	
1995			1			
1996					5	2
1997					9	
1998			1		10	
1999					3	
2000	1		2		9	1
2001			6		6	2
2002			4		1	2
2003			5		2	1
2004	1		1		2	1
2005	1				2	3
2006					3	3
2007	1		1		6	7
2008			1		6	2
2009			1		10	3
2010					3	7
2011			2		18	4
2012			4		43	18
2013	3		5	2	35	4
2014		2	7		13	10
2015			6	1	10	2
1990 - 2003	1	0	21	0	47	8
2004 - 2015	6	2	28	3	151	64
DIFERENCIA	5	2	7	3	104	56

Anexo 5. Histórico de eventos reportados en Putumayo.

Fuente: IDEAM et al, 2017a